

УДК 622.834.2:622.862.3

doi: [10.31474/1999-981X-2018-1-84-95](https://doi.org/10.31474/1999-981X-2018-1-84-95)

С.В. Подкопаев
Е.И. Конопелько
Д.А. Чепига
И.В. Иорданов
И.Н. Смоланов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЯВЛЕНИЙ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ С УЧЕТОМ ЖЕСТКОСТИ ОХРАННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Цель. Исследование проявлений горного давления в пластовых подготовительных выработках при различных способах охраны с учетом жесткости охранных сооружений.

Методы исследования. В исследованиях используется комплексный подход, включающий анализ и обобщение теоретических и экспериментальных исследований по данной проблеме, натурный эксперимент по изучению устойчивости пластовых штреков при различных способах охраны и обработку экспериментальных данных.

Результаты исследования. В соответствии с результатами выполненных исследований отмечено, что для обеспечения эксплуатационного состояния пластовых подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях, когда должно соблюдаться требование эффективного поддержания боковых пород позади очистного забоя, целесообразно применение податливых охранных сооружений. При определении величины смещений боковых пород в пластовых подготовительных выработках при охране податливыми сооружениями, их жесткость при постоянной нагрузке, может считаться переменной во времени, до момента полного сжатия опоры. В случае применения для охраны пластовых выработок целиков угля, изменение жесткости последних происходит по линейному закону, но с учетом угла падения разрабатываемого пласта.

Научная новизна. Установлено, что в зонах активного влияния горного давления, между конвергенцией боковых пород и изменением жесткости охранных сооружений, не существует однозначной зависимости, а степень ее изменения обуславливается фактором времени, величиной внешней силы и типом охранного сооружения. Эффективность использования последних, в конкретных горно-геологических условиях, оценивается по изменению устойчивости поддерживаемых подготовительных выработок, но с учетом жесткости охранных сооружений, которая представляет собой величину, характеризующую отношение значения внешней силы к смещению пород кровли разрабатываемого угольного пласта.

Практическая значимость. Для обеспечения эксплуатационного состояния пластовых подготовительных выработок целесообразно применение податливых охранных сооружений.

Ключевые слова: откаточный штрек, смещения, целик, охранные сооружения, закладка выработанного пространства, расслоение боковых пород.

Введение.

В настоящее время разработка угольных пластов украинского Донбасса характеризуется относительно низким уровнем технико-экономических показателей. В немалой степени это связано с отсутствием надежных и эффективных средств и способов обеспечения устойчивости боковых пород и горных выработок.

Общеизвестно, что неудовлетворительное состояние горных выработок, особенно при поддержании штреков в сложных горно-геологических условиях, повышает уровень травматизма горнорабочих. При разработке наклонных и крутых угольных пластов, в силу специфических особенностей их разработки, связанных с углами падения, имеет место опасность обрушений и обвалов не только пород кровли, но и сползаний пород почвы. В одних случаях, обрушения и обвалы боковых пород распространяются на

призабойное пространство лавы, часто по всей ее длине и сопровождаются частичным или полным завалом очистного забоя и подготовительных выработок. В других случаях, эти явления происходят за лавой и приводят только к завалу подготовительных выработок. При этом имеет место потеря регламентированного ПБ (Правилами безопасности) сечения штреков, что в свою очередь, способствует увеличению уровня травматизма на протяжении горных выработок.

Как видится, в результате сдвижения расслоившейся толщи, в окрестности поддерживаемых горных выработок происходит изменение напряженно-деформированного состояния боковых пород, в результате чего их устойчивость может ухудшаться, а значит, разработка эффективных мероприятий, направленных на поддержание штреков в эксплуатационном состоянии, будет отвечать

требованиям безопасного ведения горных работ.

Анализ исследований и публикаций.

Переход горных работ с глубины 600 до 1000м привел к росту горного давления и вызвал увеличение смещений пород на контуре подготовительной выработки в 2,2-2,5 раза. В зонах разгрузки, глинистые породы, увеличиваясь в объеме во времени, способствуют отрыву слоев более прочных пород и формируют условия обрушений, что приводит к потере устойчивости горных выработок [1]. В связи с этим, в реальных условиях разработки угольных пластов при различных способах охраны горных выработок, на практике приходится встречаться с особым видом нагружения боковых пород в зависимости от горно-геологических условий.

В большинстве случаев, в качестве параметрического обеспечения геомеханических расчетов устойчивости боковых пород и горных выработок, используются ситуации, определяемые статическим методом приложения нагрузки. Однако ряд событий, к которым следует относить внезапные посадки кровли или обрушения расслоившейся толщи, характеризуются приложением динамических нагрузок. Последние следует рассматривать как ударные явления, которые отрицательно воздействуют на боковые породы.

Внезапные обрушения боковых пород, посадки основной кровли, относятся к однократным аварийным нагрузкам, которые характеризуются высокой интенсивностью и малым промежутком времени действия. В результате такого взаимодействия, в большинстве случаев, имеют место не только завалы горных выработок и повреждение горно-шахтного оборудования, но и травмирование людей.

Известно [2,17,18,20,23], что в динамическом поведении сооружений огромную роль играет наличие податливого основания, демпфирующая способность которого приводит к сглаживанию напряжений при ударе. Использование податливого основания является одним из способов защиты сооружений, основанных на предотвращении или локализации динамического

воздействия, либо снижении интенсивности статической нагрузки [3].

При этажном способе подготовки угольных пластов, в результате подвигания очистной выработки, происходит последовательное отделение слоев от вышележащей толщи и прогиб их по нормали к напластованию, подобно плите с «двусторонней» заделкой [4]. С увеличением угла падения пласта, расслоившиеся и разрушенные слои подработанной толщи, под действием сил собственного веса, стремятся опуститься вниз, способствуя проявлению различного вида нагрузок на боковые породы [5].

Считается [6], что при наклонном залегании угольных пластов и на крутом падении можно принимать давление на крепь откаточного штрека как действие консольной балки, претерпевшей излом у угольного массива. Помимо того, на состояние подготовительных выработок определяющее влияние оказывают сдвиги боковых пород в лаве, в результате чего так же происходит формирование нагрузки на крепь [7]. В таких условиях, противостоять смещениям на контуре выработки в процессе ее поддержания, особенно в зонах активного влияния горного давления, только при помощи арочной крепи, практически невозможно [8]. Увеличение плотности последней в 2-3 раза не оказывает существенного влияния на величину смещений пород, т.к. возводимая в штреке крепь предназначена прежде всего для предотвращения обрушений расслоившихся и отделившихся от массива пород, в выработку [9]. Очевидно, крепи пассивно воздействуют на приконтурный массив и не способны в полной мере противостоять силам горного давления.

Изучение процесса смещений боковых пород на контуре подготовительной выработки, определение величины смещений, а также правильное понимание при этом геомеханических процессов, позволит обосновать выбор рационального способа охраны горных выработок в конкретных горно-геологических условиях. Однако учесть все многообразие факторов, оказывающих влияние на состояние штреков практически невозможно, поэтому предлагается условия поддержания оценивать по величине сближения пород их контура, изменению площади поперечного сечения, но с учетом жесткости охранных сооружений.

Цель исследований.

Исходя из этого, целью исследований является изучение особенностей проявления горного давления на контуре подготовительных выработок, с учетом изменения жесткости охранных сооружений при различных способах охраны пластовых штреков, по мере подвигания очистного забоя.

Методы исследований.

Используется комплексный подход, включающий анализ и обобщение теоретических и экспериментальных исследований по данной проблеме, натурный эксперимент по изучению устойчивости пластовых штреков при различных способах охраны и обработке экспериментальных данных.

В связи с этим, в качестве основного объекта исследований принято исследование проявлений горного давления в пластовой подготовительной выработке, а для количественной оценки – использование величины смещения пород на контуре штрека и изменения жесткости охранных сооружений в зависимости от способа охраны и расстояния от очистного забоя.

Изложение основного материала.

Увеличение плотности установки арочной крепи в откаточном штреке в 2 раза не способствовало улучшению его устойчивости при охране деревянными охранными сооружениями или целиками угля.

На первом этапе исследований, с целью изучения периодического характера проявления горного давления в подготовительных выработках и определения величины смещений боковых пород на их контуре, при различных способах охраны, были проведены экспериментальные исследования устойчивости штреков в условиях ГП «Торецкуголь» на шахтах «Торецкая» и «Центральная»^{*}.

При проведении экспериментальных наблюдений в откаточном штреке на специально оборудованных замерных станциях, устанавливалась величина смещения контрольных точек, за промежуток времени между замерами. Схема экспериментального участка представлена на рис.1. На специально оборудованной замерной станции, с помощью рулетки ВНИМИ, определялась величина смещения боковых пород на контуре выработки, когда устанавливали величину сближения реперов относительно друг друга, по наиболее характерным для наклонного и

крутого падения направлениям. Погрешность замеров не превышала ± 2 мм. Схема замерных станций представлена на рис.2.

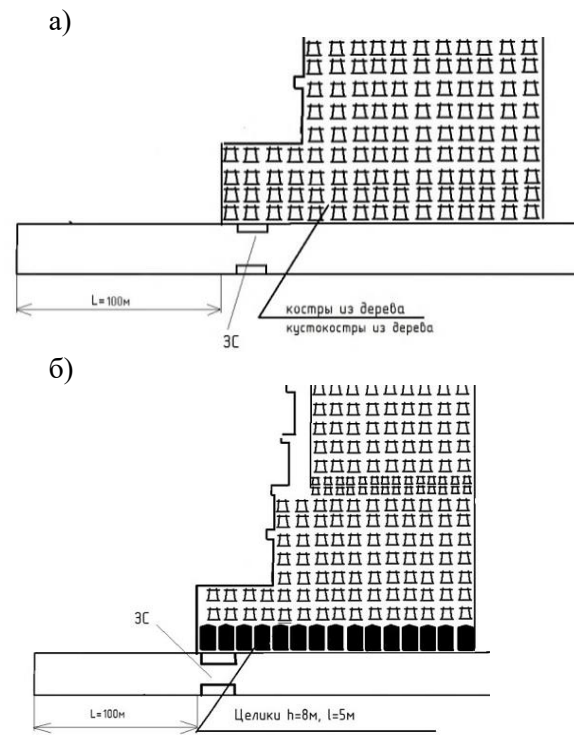


Рис. 1. Схема экспериментальных участков для определения смещений боковых пород на контуре откаточного штрека, пройденного по пласту I₃ «Мазурка», при охране (а) деревянными кострами или кустокострами, (б) целиками угля: ЗС – место расположения замерной станции.

Исследования проводились в откаточном штреке, пройденном по пласту I₃ Мазурка горизонта 810м шахты «Торецкая», на участке длиной l=70м, когда штрек охранялся деревянными кострами, и на участке длиной l=100м, при охране этого штрека целиками угля. Площадь поперечного сечения штрека, на момент проведения исследований, составляла S=8,2м², расстояние между рамами арочной крепи АП-3 с деревянной затяжкой 0,8м. Штрек проводился с помощью буровзрывных работ (БВР). Скорость проведения штрека v_{шт}=10м/мес., скорость очистных работ v_{шт}=7м/мес. Лава с потолкоуступным забоем. Способ управления кровлей в лаве – удержание на кострах. Охрана штрека осуществлялась деревянными кострами, а через некоторое время, в связи с ухудшением горно-геологических условий – целиками угля, размер которых h=8м, l_ц=5м, где h – высота целика, м; l_ц – ширина целика, м.

^{*}) В экспериментальных исследованиях, отработке результатов экспериментов принимал участие асп. А.В.Положий (ДонНТУ)

Эксперименты в условиях шахты «Центральная» были проведены в откаточном штреке пласта I₃ горизонта 1146м на участке длиной $l=55\text{м}$ при охране штрека кустокострами и на участке, длина которого $l=78\text{м}$, когда штрек охраняли целиками угля. Площадь поперечного сечения штрека $S=8,5\text{ м}^2$, расстояние между рамами крепи АП-3 с деревянной затяжкой 0,8м. Штрек проводился с помощью БВР. Скорость проведения штрека $v_{\text{шт}}=18\text{м/мес.}$, скорость очистных работ $v_{\text{оч.}}=12\text{м/мес.}$ Штрек, некоторое время, охраняли кустокострами, а затем целиками угля, размер которых соответствовал $h=8\text{м}$, $l_{\text{ц}}=5\text{м}$.

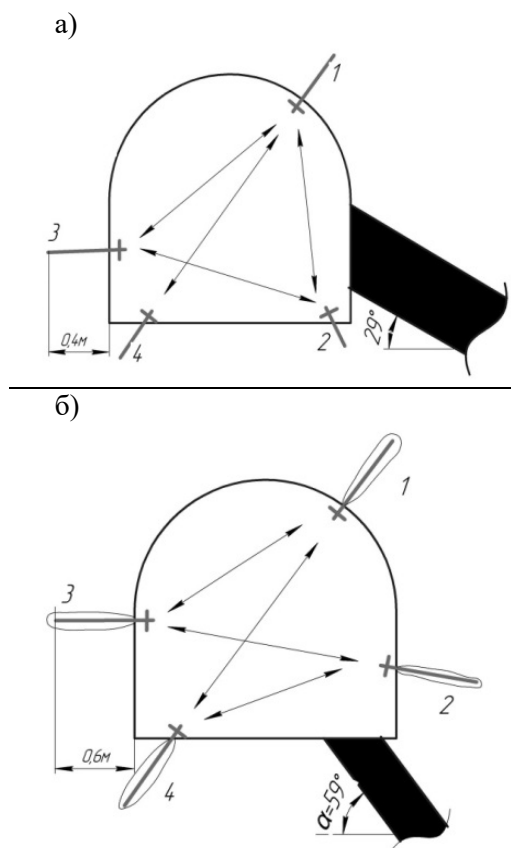


Рис. 2. Схемы замерных станций для определения смещений боковых пород на контуре откаточного штрека, пройденного по пласту I₃: а) на горизонте 810м шахты «Торецкая»; б) на горизонте 1146м шахты «Центральная»; 1,2,3,4 – репера; 1-3, 1-4, 1-2, 2-3, 2-4 – сближение реперов 1,2 в направлении реперов 3,4.

Мощность угольного пласта I₃ в условиях шахты «Центральная» $m=1,17\text{м}$, угол падения пласта $\alpha=59^\circ$. В непосредственной кровле залегает глинистый сланец, мощно-

стью до $m=4,0\text{м}$, в основной – сланец песчаный, мощностью до $m=7,0\text{м}$. В почве пласта залегает глинистый сланец, мощностью до $m=15,0\text{ м}$. Опережение штрека, на момент выполнения экспериментов, составляла $L=100\text{м}$.

При проведении на экспериментальных участках натуральных наблюдений, основное внимание уделялось смещению пород на контуре подготовительных выработок при различных способах охраны в зависимости от расстояния до очистного забоя, глубины горных работ и с учетом горно-геологических условий. По результатам обработки экспериментальных данных, были построены графики смещений пород на контуре откаточного штрека пласта I₃ Мазурка горизонта 810м шахты «Торецкая» при его охране на протяжении $l=70\text{м}$ деревянными кострами (рис.3а) и $l=100\text{м}$ целиками угля (рис.3б).

В результате проведенных натуральных наблюдений и замеров в откаточном штреке пласта I₃ шахты «Торецкая», было установлено, что максимальные величины смещений на контуре подготовительной выработки, при ее охране деревянными кострами, отмечены на расстоянии $l=70\text{м}$ позади очистного забоя, в направлениях 1-4 и 1-2. В этом месте величина сближения реперов по указанным направлениям составляла, соответственно, $U_{1-4}=340\text{мм}$, $U_{1-2}=250\text{мм}$ (рис.3а).

При охране штрека целиками угля, максимальные смещения были зарегистрированы на расстоянии $l=100\text{м}$ позади лавы, по направлениям 1-4 и 1-2. В количественном выражении величина смещений в направлении реперов 1-4 составляла $U_{1-4}=440\text{мм}$, в направлении реперов 1-2 – $U_{1-2}=300\text{мм}$ (рис.3б).

Одновременно, с регистрацией сближения реперов на контуре подготовительной выработки, по мере подвигания лавы, регистрировалось изменение площади поперечного сечения штрека S , (м^2). Для этого были выполнены замеры ширины b , (м) и высоты h , (м) поддерживаемой позади лавы пластовой подготовительной выработки. Отсюда, на рис.4 представлены графики изменения площади поперечного сечения штрека S , (м^2) по его длине, при различных способах охраны, с учетом подвигания очистного забоя.

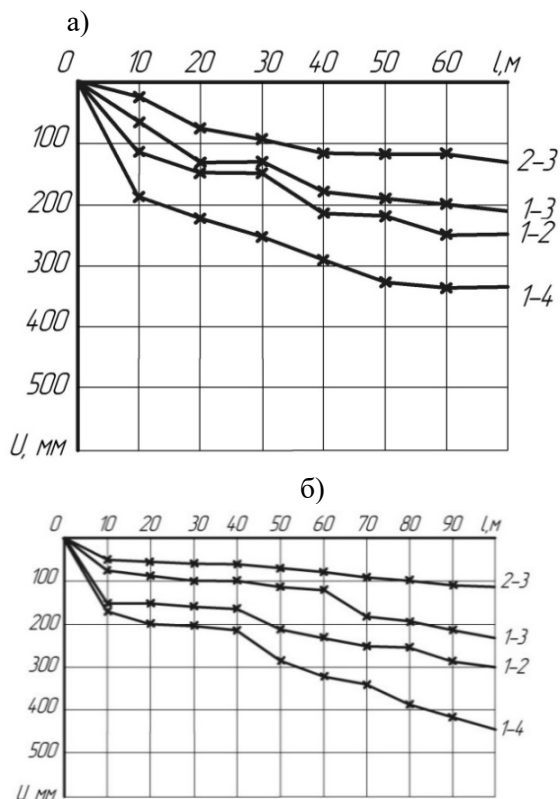


Рис. 3. Смещение пород U , (мм) на контуре откаточного штрека пласта I_3 по длине l , (м) горизонта 810м шахты «Торецкая»: а) при охране деревянными кострами; б) при охране целиками угля.

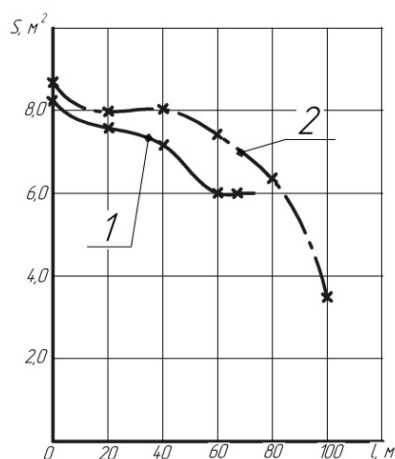


Рис. 4. Изменение площади поперечного сечения S , (m^2) откаточного штрека пласта I_3 по длине l , (м) на горизонте 810м шахты «Торецкая» при охране: 1 - деревянными кострами; 2 - целиками угля.

Из представленных зависимостей видно, что при охране штрека деревянными кострами его сечение S , (m^2) изменилось с $S=8,2m^2$ до $S=6,0m^2$ на расстоянии $l=65m$ позади лавы, т.е. уменьшение составило

до 25%. В дальнейшем, за указанной отметкой, конвергенции боковых пород не наблюдалось (рис.4, зависимость 1).

При использовании для охраны штрека целиков угля, сечение штрека S , (m^2) на протяжении $l=100m$ изменилось с $S=8,5m^2$ до $S=3,6m^2$ (рис.4, зависимость 2). В этом случае уменьшение составило до 60%.

Данные обработки экспериментальных данных, полученных в условиях шахты «Центральная», когда откаточный штрек пройденный по пласту I_3 на горизонте 1146м охранялся кустокострами на участке, протяженность которого $l=55m$ и целиками угля, когда $l=75m$, представлены в виде зависимостей, изображенных на рис. 5.

По результатам экспериментальных исследований замеров сближения реперов в выработке установлено, что максимальные смещения при охране штрека кустокострами отмечены на расстоянии $l=55m$ позади очистного забоя, по направлениям 1-4 и 1-3, когда $U_{1-4}=350mm$, $U_{1-3}=290mm$ (рис.5а).

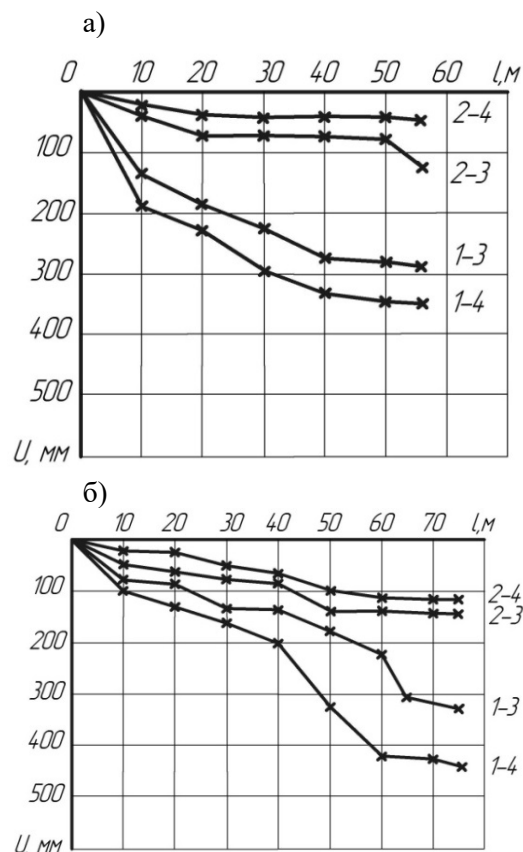


Рис. 5. Смещение пород U , (мм) на контуре откаточного штрека пласта I_3 по длине l , (м) на горизонте 1146м шахты «Центральная»: а) при охране кустокострами; б) при охране целиками угля.

При переходе на другой способ охраны – целики угля, сближения реперов по этим направлениям составили, соответственно, $U_{1-4}=440\text{мм}$, $U_{1-3}=320\text{мм}$, на расстоянии $l=75\text{м}$ позади очистного забоя (рис.5б).

Анализируя изменение площади поперечного сечения штрека $S, (\text{м}^2)$ на всем протяжении, по мере подвигания очистного забоя, было установлено, что при охране пластовой подготовительной выработки кустокострами, ее сечение уменьшилось с $S=8,5\text{м}^2$ до $S=6,8\text{м}^2$ на расстоянии $l=55\text{м}$ позади очистного забоя (рис.6, зависимость 1).

При использовании целиков угля, сечение штрека $S, (\text{м}^2)$ изменилось с $S=8,6\text{м}^2$ до $S=5,5\text{м}^2$ на протяжении $l=75\text{м}$ (рис.6, зависимость 2). Следует отметить, что уменьшение площади поперечного сечения $S, (\text{м}^2)$ в первом случае составляло 20%, во втором – 35%.

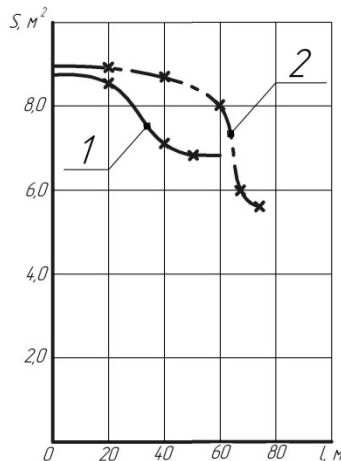


Рис. 6. Изменение площади поперечного сечения $S, (\text{м}^2)$ откаточного штрека пласта I_3 по длине $l, (\text{м})$ на горизонте 1146м шахты «Центральная» при охране: 1 - кустокострами; 2 - целиками угля.

В результате выполненных исследований установлено, что наибольшие смещения, с учетом применяемых на шахтах способах охраны откаточных штреков зафиксированы по реперам, со стороны пород кровли. Характерно, что сдвигения со стороны висячего бока, во всех случаях, были представлены полойным изгибом пород. Глинистый сланец, залегающий в породах непосредственной кровли, под влиянием опорного давления, был разбит серией трещин, в результате чего, в некоторых случаях, имело место высыпание породы в штрек.

При охране подготовительной выработки деревянными конструкциями, за

отметкой $l=50\text{м}$ позади очистного забоя, сдвигения боковых пород практически затухают и стабилизируются. В случае оставления для охраны выработок целиков угля, такая закономерность не прослеживается. Тем не менее, характер сдвигения боковых пород на контуре выработки с удалением от очистного забоя в сторону выработанного пространства, имеет одинаковую качественную картину, но отличается интенсивностью.

В зависимости от положения очистного забоя, сечение штрека уменьшилось за счет действия на крепь давления нарушенных пород. Крепь выработки деформировалась специфично со стороны пород висячего бока, присущно выработкам откаточного горизонта. Наиболее интенсивно давление горных пород на крепь штрека происходит со стороны пород непосредственной кровли угольного пласта в направлении, близком к нормали, относительно напластования. Опускание кровли может прекратиться на разных расстояниях от очистного забоя в сторону выработанного пространства, в зависимости от типа охранных сооружений. Со стороны лежачего бока, т.е. пород почвы, деформации незначительны. Однако, в случае охраны целиками угля, смещения пород почвы угольного пласта увеличились на 25-30%, в сравнении с применением в качестве охранных сооружений деревянных конструкций.

По всей видимости, не отвергая принципиальную возможность улучшения состояния штреков за счет повышения несущей способности крепей, все же основным направлением, обеспечивающим сохранность выработок в эксплуатационном состоянии, отвечающем требованиям ПБ в сложных горно-геологических условиях, следует считать поиск более надежных и конструктивно простых способов охраны откаточных штреков.

Обсуждение результатов исследований.

Из-за многообразия и сложности горно-геологических условий разработки угольных пластов, в углепородном массиве, вмещающем выработку, при ведении горных работ, возникают геомеханические ситуации, оказывающие негативное влияние на боковые породы. Для обеспечения устойчивости боковых пород и сохранности горных выработок, на практике применяют различные

способы охраны, эффективность которых зависит от устойчивости физико-механической системы «угольный пласт – боковые породы – охранное сооружение». Чтобы свести к минимуму негативные проявления горного давления, рекомендуется применение податливых охранных сооружений, в зависимости от обоснованности технических решений и, с учетом горно-геологических условий разработки угольных пластов [19,23]. В этом случае, при наличии податливых связей в рассматриваемой физико-механической системе, охранные сооружения предназначенные для поддержания боковых пород позади очистного забоя, должны обладать коэффициентом жесткости – модулем упругости, равным образом как и пружины [10].

Между тем, при расчетах устойчивости боковых пород и горных выработок, можно ввести допущение о том, что перемещение точки тела в любой момент действия статической нагрузки такие же, как при действии динамической нагрузки [24]. Исходя из этого, на втором этапе исследований, для определения влияния жесткости применяемых охранных сооружений на состояние пластовых подготовительных выработок и для анализа геомеханической обстановки, в окрестности поддерживаемых штреков, в соответствующих расчетах используем метод перемещений и метод сил [11,12,16]. Применительно к решаемой задаче, наибольшим перемещением считаем смещения пород кровли разрабатываемого угольного пласта, когда фиксировали перемещение репера 1 в направлении репера 4 на контуре откаточного штрека, при его охране деревянными конструкциями (кострами, кустокострами) или целиками угля. Тогда, уравнение связи в рассматриваемой системе, с учетом того, что в направлении наибольших перемещений приложена единичная сила, имеет вид

$$C = \frac{1}{U_{1-4}}, \quad (1)$$

где U_{1-4} - сближение репера 1 в направлении репера 4, м.

Согласно (1), можно заключить, что жесткость C , (Н/м) отражает способность охранных сооружений сопротивляться деформации при внешнем воздействии и зависит от статического перемещения, в рассматриваемом случае, величины смещения пород

непосредственной кровли по линии, перпендикулярной напластованию пород.

Деформация охранных сооружений состоит из упругой и остаточных частей. В зависимости от возможной величины последней, можно говорить о пластичности или хрупкости охранного сооружения [21].

На рис. 7а,б представлены зависимости, отражающие изменение жесткости C , (Н/м) деревянных костров (а) и целиков угля (б), по мере подвигания очистного забоя в условиях шахты «Торецкая».

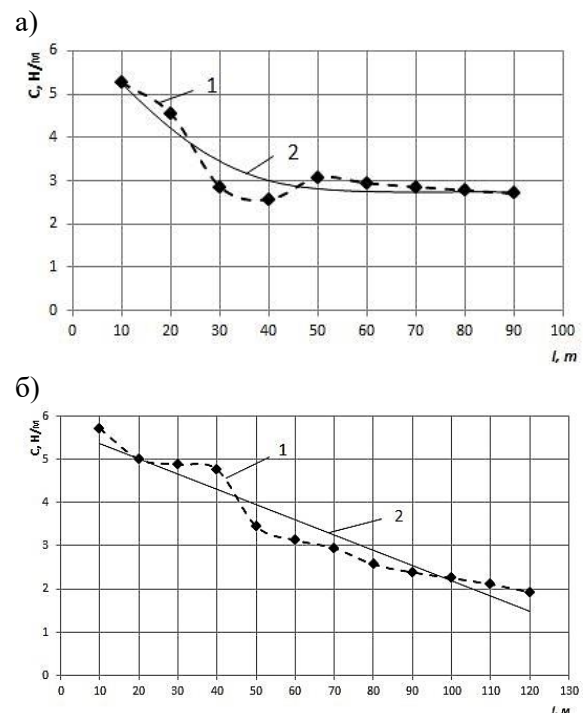


Рис. 7. Изменение жесткости C , (Н/м) охранных сооружений по длине откаточного штрека l , (м) за лавой в условиях шахты «Торецкая» при охране: а) деревянные костры; б) целики угля; 1 – экспериментальные данные, 2 – зависимости после обработки 1; ($R^2=0,92$)

Аналогичные зависимости были получены для условий шахты «Центральная», когда для охраны откаточного штрека использовались кустокостры и целики угля. Результаты исследований представлены на рис. 8а, б.

Для податливых охранных сооружений характерно пластическое деформирование с плавным увеличением их реакции до максимального значения. В этих случаях, изогнутая ветвь графика, изображенная на рис. 7а и 8а, характеризует конвергенцию боковых пород, когда происходит сжатие охранных со-

оружений за определенный промежуток времени. Исчерпав свою податливость и достигнув определенной величины жесткости, равной $C=2,75$ (Н/м) (рис.7а) и $C=2,9$ (Н/м) (рис.7б) на расстоянии $l=50$ м позади лавы, создаются условия, когда в зоне установившегося горного давления конвергенции боковых пород не наблюдается, а опускание пород кровли достигло максимальной величины (рис.7а,8а).

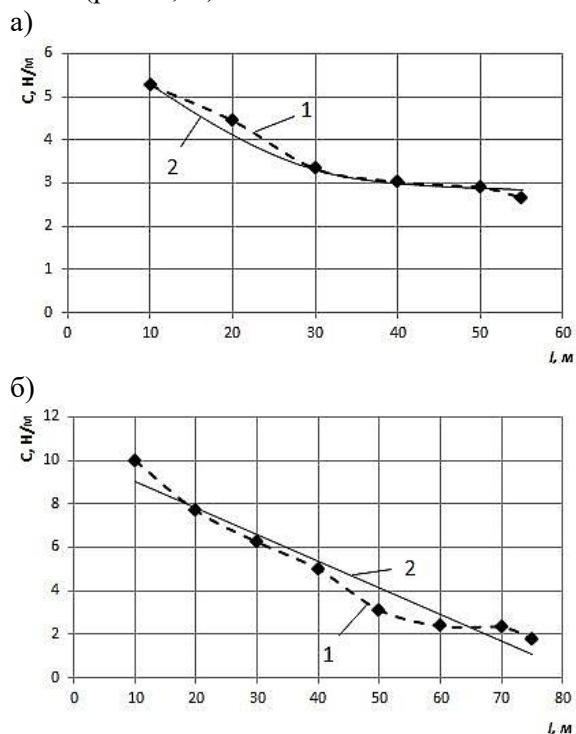


Рис. 8. Изменение жесткости C , (Н/м) охранных сооружений по длине откаточного штрека l , (м) за лавой в условиях шахты «Центральная» при охране: а) кустокостврами; б) целиками угля; 1 – экспериментальные данные, 2 – зависимости после обработки 1; ($R^2=0,92$)

Угольный целик представляет собой хрупкое тело и является классическим объектом линейной механики разрушения. В линейной механике разрушения, хрупкое разрушение рассматривают с позиций механизма накопления повреждений и распространения трещин [22].

Известно [13], что прочностные и деформационные свойства угольного целика определяются наличием в нем дефектов и их характеристиками. В трещиноватом массиве целик находится в предельном напряженно-деформированном состоянии и его несущая способность недостаточна для поддержания подработанных пород [14]. В таких условиях

охранные угольные целики склонны к разрушению и высыпанию. Это приводит к образованию пустот над штреком, значительному уменьшению жесткости целика и, соответственно, потере площади поперечного сечения пластового откаточного штрека при его поддержании в выработанном пространстве, т.е. позади лавы.

В результате выполненных экспериментальных исследований установлено, что величина жесткости угольного целика в условиях наклонного залегания угольных пластов (шахта «Торецкая»), изменяется от $C=5,8$ (Н/м) на расстоянии $l=10$ м позади очистного забоя, до $C=3,0$ (Н/м) – на расстоянии $l=70$ м (рис.7б). В условиях крутого падения пластов (шахта «Центральная»), изменение жесткости целика составляет, соответственно, $C=10$ (Н/м) при $l=10$ м и, $C=2,1$ (Н/м) на расстоянии $l=70$ м (рис.8б). В первом случае, уменьшение жесткости составляет около 50%, во втором – около 75%. При дальнейшем подвигании очистного забоя, в условиях шахты «Торецкая», жесткость целика уменьшалась до $C=2,15$ Н/м, на расстоянии $l=100$ м (рис.7б), что привело к уменьшению исследуемой величины на 65%.

С учетом этого, на рис.9 представлены линейные зависимости, отражающие изменение в Π , (%) жесткости угольного целика по длине l , (м) откаточного штрека.

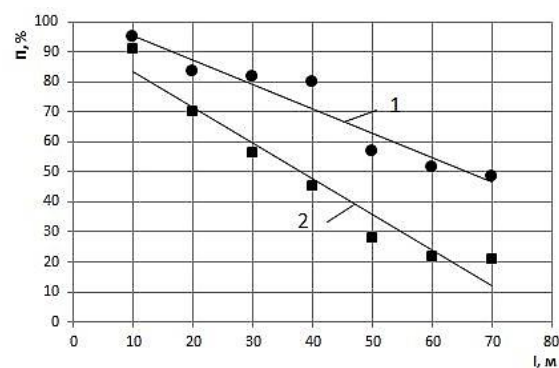


Рис. 9. Изменение жесткости угольного целика Π , (%) по длине откаточного штрека l , (м): 1 – шахта «Торецкая»; 2 – шахта «Центральная»; ■, • - экспериментальные значения; ($R^2=0,91$)

Корреляция экспериментальных данных представленных в виде зависимостей, изображенных на рис.9, позволяет определить изменение жесткости хрупкого охранного сооружения по длине откаточного штрека, с учетом действующей внешней силы. В рассматриваемых случаях, между

конвергенцией боковых пород и изменением жесткости целиков, существует линейная зависимость, характер изменения которой зависит от горно-геологических условий разработки угольного пласта (рис.9)

При изучении в трещиноватом углепородном массиве прочностных характеристик угольных целиков небольших размеров, предназначенных для охраны подготовительных выработок, ранее было установлено, что их разрушение происходит в результате сдвига по образовавшимся внутри него поверхностям ослабления. По мере нагружения целика до момента сдвига, накопление нагрузений в нем происходит по линейной зависимости, при относительно небольших деформациях [15]. По-видимому, чем больше несущая способность охранного сооружения и его жесткость, при прочих равных условиях, тем большим разрушающим усилиям подвергаются породы непосредственной кровли в местах перенапряжений, которые образуются за счет контакта жесткого сооружения с боковыми породами. Этот факт подтверждают исследования состояния пластового откаточного штрека, охраняемого целиками угля в условиях шахты «Центральная», когда было зафиксировано резкое разрушение целика и непосредственной кровли разрабатываемого угольного пласта за отметкой $l=60\text{м}$ позади лавы, а так же уменьшение площади поперечного сечения пластовой подготовительной выработки.

Таким образом, для обеспечения эксплуатационного состояния пластовых подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях, необходимо ориентироваться на применение податливых охранных сооружений, обеспечивающих эффективное поддержание боковых пород позади очистного забоя. Такие охранные сооружения создают достаточный подпор породам непосредственной кровли, в зоне установившегося горного давления в результате чего сдвижение боковых пород позади лавы измеряется весьма малыми значениями.

Угольные целики представляют собой хрупкое охранное сооружение, изменение жесткости которого подчиняется линейному закону. Из-за хрупкости целика, его работа не предполагает возникновение пластических деформаций, в результате чего сопротивление такого сооружения, от действия внешней силы, при разрушении уменьшается, что приводит к резкому ухудшению устойчивости

пластовых подготовительных выработок, а, следовательно, потере площади поперечного сечения штрека за лавой.

Выводы.

Для обеспечения эксплуатационного состояния пластовых подготовительных выработок, в сложных горно-геологических условиях, целесообразно применение для охраны штреков податливых охранных сооружений. Последние, с учетом изменения величины жесткости, предназначены для поддержания боковых пород в течение определённого времени и должны способствовать плавному прогибу расслоившейся толщи позади очистного забоя. Одновременно с этим создаются условия, когда сводится к минимуму вероятность проявления динамических нагрузок, к которым следует относить внезапные обрушения боковых пород и посадки пород основной кровли.

Список литературы

1. Снижение травматизма от проявлений горного давления / Николин В.И. и др. Донецк: Норд-Пресс, 2005. 332 с.
2. Шакирзянов Р.А., Шакирзянов Ф.Р. Динамика и устойчивость сооружений. Казань: Изд-во Казан. гос. архит-стр. ун-та, 2005. 120с.
3. Кумпяк О.Г., Мещулов Н.В. Численное моделирование податливых опор в виде труб кольцевого сечения при статическом и кратковременном динамическом нагружении. *Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета*. 2017. №5. С.121-134.
4. Викторов С.Д., Иофис М.А., Гончаров С.А. Сдвижение и разрушение горных пород. Москва: Наука, 2005. 277 с.
5. Жуков В.Е. Об одной стратегической ошибке в разрешении проблемы разработки крутых пластов. *Уголь Украины*. 2001. №7. С.6-10.
6. Борисов А.А. Механика горных пород и массив. Москва: Недра, 1980. 360с.
7. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П., Сдвижкова Е.А. Геомеханика. Киев: Науковий друк, 2016. 528с. ISBN978-617-635-088-0
8. Селезень А.Л., Томасов А.Г., Андрушко В.Ф. Поддержание подготовительных выработок при разработке крутых пластов. Москва: Недра, 1977. 205с.
9. Радченко В.В., Медведев Э.Н., Кузьменко Н.С. Предотвращение травматизма от обвалов и обрушений на угольных шахтах. Киев, 2010. 372 с.
10. Якоби О. Практика управления горным давлением. Москва: Недра, 1987. 566с.
11. Зоммерфельд А. Механика. Ижевск: НИЦ: «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 368с. ISBN5-93972-051-X
12. Икрин В.А. Сопротивление материалов с элементами теории упругости и пластичности. Москва: Изд. АСВ, 2004. 424с. ISBN5-94052-041-3

13. Фекмистов Ю.Г., Головин А.Д. Обоснование распределения давления на целики в осадочных горных породах. *Литосфера*. 2015. №6. С.130-135.

14. A.Khari, A.Baghbanan, S.Norouzi, H. Hashemolhosseini. Effects of fracture geometry and stress on the strength of a fractured rock mass. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*. 2013. №60. P.345-352.

15. Протосеня А.Г., Вербило П.Э. Расчет несущей способности и изучение анизотропии прочностных характеристик междукамерных целиков в блочном горном массиве. *Сборник трудов (VIII Международная научно-практическая конференция «Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий: Геомеханическое обеспечение проектирования и сопровождения горных работ»)*. Санкт-Петербург, 2017. С. 219-225.

16. Джонсон К. Механика материалов. Санкт-Петербург: Изд-во «Лань», 2002. 672с.

17. Chenlong Wang, Changsuo Zhanga, Xiaodong Zhaob, Lin Liaoa, Shengli Zhanga. Dynamic structural evolution of overlying strata during shallow coal seam longwall mining. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. Volume 103, March 2018, P.20-32

18. Lawson Heather, E.Tesarik, Douglas Larson, Mark K., Abraham Habte. Effects of overburden characteristics on dynamic failure in underground coal mining. *International Journal of Mining Science and Technology*. Volume 27, Issue 1, January 2017, P. 121-129

19. Das A.J., Mandal P.K., Bhattacharjee R., Tiwari S., Kushwaha A., Roy L.B. Evaluation of stability of underground workings for exploitation of an inclined coal seam by the ubiquitous joint model. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. Volume 93. March 2017. P. 101-114

20. Zhang W., Su M. L., Yu H. L., Jiao Z., Zhang J. H. and Yang H. J. The Elastic Mechanics Solution of Statically Indeterminate Beams Fixed at Two Sides under the Action of Concentrated Load. *Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power*, Volume 27. 2006. No. 4, P. 40-42

21. Соколовский В.В. Теория пластичности. Москва: Высшая школа, 1969. 608с.

22. Каркашадзе Г.Г. Механическое разрушение горных пород. Москва: Изд-во МГУ, 2004. 222с. ISBN5-7418-0301-6.

23. Иорданов И.В., Чепига Д.А., Коломиец В.А., Подкопаев Е.С., Король А.В., Довгаль В.Ю. О влиянии изгибных деформаций на состояние кровли угольного пласта при внезапных обрушениях породной толщи. *Вестник НТУ «ХПИ» Серия «Новые решения в современных технологиях*. Харьков: НТУ «ХПИ». 2018. №16(1992). с.27-40. doi:10.209998/2413-4295.2018.16.05

24. Русаков А.И. Корректный расчет приведенных масс при ударе. *Вестник РГУПС*, №2. 2003. С.134-137.

References

1. Nikolin V.I., Podkopaev S.V., Agafonov A.V., Maleev N.V. (2005), Reducing traumatism from the manifestations of rock pressure [*Snizhenie travmatizma ot proyavleniy gornogo davleniya*], Donetsk: Nord-Press, 332 p. (in Russian)

2. Shakirzyanov R.A., Shakirzyanov F.R. (2005), Dynamics and stability of structures [*Dinamika i*

ustoychivost sooruzheniy], Kazan: Kazance. state. architect-p. University, 120 p. (in Russian)

3. Kumpyak O.G., Meshcheulov N.V. (2007), Numerical modeling of compliant supports in the form of tubes of annular section under static and short-time dynamic loading [*Chislennoe modelirovanie podatlivyih opor v vide trub koltsevoogo secheniya pri staticheskom i kratkovremennom dinamicheskom nagruzhenii*], Bulletin of the Tomsk State Architecture and Construction University, No. 5, pp.121-134. (in Russian)

4. Viktorov S.D. Iofis M.A., Goncharov S.A. (2005), Shift and destruction of rocks [*Sdvizhenie i razrushenie gornyih porod*], Science, 277 pp. (in Russian)

5. Zhukov V.E. (2001), On one strategic error in solving the problem of the development of steep seams [*Ob odnoy strategicheskoy oshibke v razreshenii problemy razrabotki krutyih plastov*], Coal of Ukraine, No. 7, p.6-10. (in Russian)

6. Borisov A.A. (1980), Mechanics of rocks and massif [*Mehanika gornyih porod i massiv*], Nedra, 360p. (in Russian)

7. Shashenko A.N., Pustovoitenko V.P., Spedicova E.A. (2016), Geomechanics [*Geomehanika*], Scientific seal, 528p. ISBN978-617-635-088-0 (in Russian)

8. Slezin A.L., Tomasov A.G., Andrushko V.F. (1977), Maintenance of preparatory workings in the development of steep seams [*Podderzhanie podgotovitelnyih vyirabotok pri razrabotke krutyih plastov*], Nedra, 205p. (in Russian)

9. Radchenko V.V., Medvedev E.N., Kuzmenko N.S. (2010), Prevention of injuries from collapses and cracks in coal mines [*Predotvraschenie travmatizma ot obvalov i obpsheniy na ugolnyih shahtah*], 372 p. (in Russian)

10. Jacobi O. (1987), Practice of mining pressure control [*Praktika upravleniya gornym davleniem*], Nedra, 566p. (in Russian)

11. Sommerfeld A. (2001), Mechanics [*Mehanika*], SIC: "Regular and chaotic dynamics", 368p. - ISBN5-93972-051-X (in Russian)

12. Ikrin V.A. (2004), Resistance of materials with elements of the theory of elasticity and plasticity [*Soprotivlenie materialov s elementami teorii uprugosti i plastichnosti*], Ed. ASV, 424p. - ISBN5-94052-041-3 (in Russian)

13. Fekmistrov Yu.G., Golovin A.D. (2015), Justification of pressure distribution on the pillars in sedimentary rocks [*Obosnovanie raspredeleniya davleniya na tseliki v osadochnyih gornyih porodah*], Lithosphere, No.6., p.130-135. (in Russian)

14. Khari A., Baghbanan A., Norouzi S., Hashemolhosseini H. (2013), Effects of fracture geometry and stress on the strength of a fractured rock mass, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, No. 60 - pp.345-352.

15. Protosenya A.G., Verbilov P.E. (2017), Calculation of the bearing capacity and the study of the anisotropy of the strength characteristics of interlocking pillars in a blocky mountain range [*Raschet nesuschey sposobnosti i izuchenie anizotropii prochnostnyih harakteristik mezhdukamernyih tselikov v blochnom gornom massive*], Proceedings (VIII International Scientific and Practical Conference "Innovative Directions in the Design of Mining Enterprises: Geomechanical Support for the Design and Support of Mining Operations"), pp. 219-225. (in Russian)

16. Johnson K. (2002), Mechanics of Materials [*Mehanika materialov*], Publishing house "Lan", 672p. (in Russian)

17. Chenlong Wanga, Changsuo Zhanga, Xiaodong Zhaob, Lin Liaoa, Shengli Zhanga (2018), Dynamic structural evolution of overlying strata during shallow coal seam longwall mining, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 103, pp. 20-32.

18. Lawson Heather, E. Tesarik, Douglas Larson, Mark K., Abraham Habte (2017), Effects of overburden characteristics on the basis of dynamic failure in underground coal mining, International Journal of Mining Science and Technology, Volume 27, Issue 1, pp. 121-129

19. Das A.J., Mandal P.K., Bhattacharjee R., Tiwari S., Kushwaha A., Roy L.B. (2017), Evaluation of the stability of underground workings for the exploitation of an inclined coal seam by the ubiquitous joint model, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 93, pp. 101-114

20. Zhang W., Su M. L., Yu H. L., Jiao Z., Zhang J.H., Yang H.J. (2006), The Elastic Mechanics Solution of Statically Indeterminate Beams Fixed at Two Sides under the action of Concentrated Load. Journal of the North China

Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Volume 27, No. 4, pp. 40-42

21. Sokolovsky V.V. (1969), Theory of plasticity [Teoriya plastichnosti], High School, 608p. (in Russian)

22. Karkashadze G.G. (2004), Mechanical destruction of rocks [Mehanicheskoe razrushenie gorniyh porod], Publishing house MGGU, 222p. ISBN5-7418-0301-6. (in Russian)

23. Iordanov I.V., Chepiga D.A., Kolomiets V.A., Podkopaev E.S., Korol A.V., Dovgal V. Yu. (2018), On the influence of flexural deformations on the state of the roof of a coal seam under sudden collapse of the rock mass [O vliyaniy izgibnykh deformatsiy na sostoyanie krovli ugolnogo plasta pri vnezapnykh obrusheniyyakh porodnoy tolschi], Vestnik NTU "KHPI" Series "New solutions in modern technologies, NTU "KhPI", No. 16 (1992), pp. 27-40. - doi: 10.209998 / 2413-4295.2018.16.05 (in Russian)

24. Rusakov A.I. (2003), Correct calculation of the reduced masses upon impact [Korrektnyy raschet privedennykh mass pri udare], Vestnik RGUPS, No.2, pp. 134-137. (in Russian)

Надійшла до редакції 10.05.2018

Рецензент д-р. техн. наук, проф. І.О.Єфремов.

Подкопаев Сергей Викторович – доктор технических наук, профессор, Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», г.Покровск, Украина. E-mail: serhii.podkopaiev@donntu.edu.ua.

Конюпелько Евгений Иванович – кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры «Охрана труда», Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», г.Покровск, Украина. E-mail: yevhen.konopelko@donntu.edu.ua

Чепига Дарья Анатольевна – аспирант кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых», Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», г.Покровск, Украина. E-mail: daria.chepiha@donntu.edu.ua.

Иорданов Игорь Вячеславович – кандидат технических наук, соискатель кафедры «Охрана труда», Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», г.Покровск, Украина. E-mail: gendir2017@gmail.com.

Смолянов Игорь Николаевич – канд.техн.наук, 10ВГСО Минуглепром Украины, г.Мирноград, Украина. E-mail: Sin.gvgs@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЯВІВ ГІРНИЧОГО ТИСКУ В ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБКАХ З УРАХУВАННЯМ ЖОРСТКОСТІ ОХОРОННИХ СПОРУД

Мета. Дослідження проявів гірничого тиску в пластових підготовчих виробках при різних способах охорони з урахуванням жорсткості охоронних споруд.

Методи. У дослідженнях використовується комплексний підхід, що включає аналіз і узагальнення теоретичних і експериментальних досліджень з даної проблеми, натурний експеримент з вивчення стійкості пластових штреків при різних способах охорони і обробку експериментальних даних.

Результати. Відповідно до результатів виконаних досліджень відмічено, що для забезпечення експлуатаційного стану пластових підготовчих виробок в складних гірничо-геологічних умовах, коли необхідно отримуватися вимог ефективного підтримання бічних порід позаду очисного забою, доцільно застосування піддатливих охоронних споруд. При визначенні величини зсувів бічних порід в пластових підготовчих виробках при охороні піддатливими спорудами, їх жорсткість при постійному навантаженні, може вважатися змінною в часі, до моменту повного стиснення опори. У разі застосування для охорони пластових виробок ціликів вугілля, зміна жорсткості останніх відбувається за лінійним законом, але з урахуванням кута падіння пласта.

Наукова новизна. Встановлено, що в зонах активного впливу гірничого тиску, між конвергенцією бічних порід і зміною жорсткості охоронних споруд, не існує однозначної залежності, а ступінь її зміни обумовлюється фактором часу, величиною зовнішньої сили і типом охоронної споруди. Ефективність використання останніх, в конкретних гірничо-геологічних умовах, оцінюється по зміні стійкості підтримуваних підготовчих виробок, але з урахуванням жорсткості охоронних споруд, яка представляє собою величину, що характеризує відношення значення зовнішньої сили до зміщення порід покрівлі вугільного пласта, який розробляється.

Практична значимість. Для забезпечення експлуатаційного стану пластових підготовчих виробок доцільно застосування піддатливих охоронних споруд.

Ключові слова: відкаточний штрек, зміщення, цілик, охоронні споруди, закладка виробленого простору, розшарування бічних порід.

Подкопась Сергій Вікторович – доктор технічних наук, професор, Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», м.Покровськ, Україна. E-mail: serhii.podkopaiev@donntu.edu.ua.

Конопелько Євген Іванович – кандидат фіз.-мат. наук, доцент кафедри «Охорона праці», Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», м.Покровськ, Україна. E-mail: yevhen.konopelko@donntu.edu.ua

Чепіга Дар'я Анатоліївна – аспірант кафедри «Розробка родовищ корисних копалин», Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», м.Покровськ, Україна. E-mail: daria.chepiha@donntu.edu.ua.

Іорданов Ігор Вячеславович – кандидат технічних наук, здобувач кафедри «Охорона праці», Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», м.Покровськ, Україна. E-mail: gendir2017@gmail.com.

Смоланов Ігор Миколайович – кандидат технічних наук, 10ВГРО Мінвуглепром України, м.Мирноград, Україна. E-mail: Sin.gvsss@gmail.com

INVESTIGATION OF ROCK PRESSURE MANIFESTATIONS IN PREPARATORY DEVELOPMENTS WITH THE ACCOUNT OF STRUCTURE OF SECURITY FACILITIES

Purpose. Investigation of the manifestations of rock pressure in reservoir preparatory excavations with various methods of protection, taking into account the rigidity of security installations.

Methodology. In the studies, the complex approach is used, which includes analysis and generalization of theoretical and experimental studies on this problem, a full-scale experiment to study the stability of reservoir drifts for various methods of protection, and the processing of experimental data.

Results. To ensure the operational state of reservoir preparatory workings in difficult mining and geological conditions, when the requirement to effectively maintain the lateral rocks behind the breakage face, it is advisable to apply compliant security structures. When determining the amount of displacements of the lateral rocks in the formation workings during protection by compliant structures, the rigidity of the compliant structures at a constant load can be considered variable in time, up to the moment of complete compression of the support. When using coal beds for the protection of reservoirs, changes in the rigidity of the latter occur according to a linear law, but taking into account the angle of incidence of the developed formation.

Scientific novelty. In the zones of active influence of rock pressure, between the convergence of the lateral rocks and the change in the rigidity of security structures, there is no single-valued relationship, and the degree of its change is determined by the time factor, the magnitude of the external force and the type of security facility that has been established. The effectiveness of the use of security facilities, in specific mining and geological conditions, is estimated from the change in the stability of supported mine workings, but taking into account the rigidity of security installations. Rigidity is a value characterizing the ratio of the value of the external force, to the displacement of the roof rocks of the developed coal seam.

Practical significance. The use of compliant security structures is advisable to ensure the operational status of gate way.

Key words: haulage gate, displacement, solid block, security facilities, goaf stowing, stratification of lateral rocks.

Podkopaev Serhii - Doctor of Technical Sciences, Professor, Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine. E-mail: serhii.podkopaiev@donntu.edu.ua.

Konopelko Yevhen - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Assistant Professor of the Department of Occupational Safety, Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine. E-mail: yevhen.konopelko@donntu.edu.ua

Chepiga Daria – graduate student, Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine. E-mail: daria.chepiha@donntu.edu.ua.

Iordanov Igor – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Applicant, Public higher education institution Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine. E-mail: gendir2017@gmail.com.

Smolanov Igor - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), mine rescue brigade Minugleprom of Ukraine, Mirmograd, Ukraine. E-mail: Sin.gvsss@gmail.com