

УДК 622.023.42

DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2019.144.218>**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ
ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК В ВЕСЬМА СЛАБЫХ ПОРОДАХ****¹Ковалевская И.А., ²Гусев А.С., ³Снигур В.Г., ¹Малова О.К.**¹НТУ «Днепропетровская политехника» МОН Украины, ²ШУ «Днепропетровское» ЧАО «ДТЭК Павлоградуголь», ³ШУ «им. Героев Космоса» ЧАО «ДТЭК Павлоградуголь»**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ВІЙМКОВИХ
ВИРОБОК У ВЕЛЬМИ СЛАБКИХ ПОРОДАХ****¹Ковалевська І.А., ²Гусев О.С., ³Снігур В.Г., ¹Малова О.К.**¹НТУ «Дніпровська політехніка» МОН України, ²ШУ «Дніпровське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградугілля», ³ШУ «ім. Героїв Космосу» ПрАТ «ДТЕК Павлоградугілля»**EXPERIMENTAL STUDIES OF THE EXTRACTION MINE WORKINGS IN A
VERY WEAK ROCKS****¹Kovalevska I.A., ²Husiev O.S., ³Snihur V.H., ¹Malova O.K.**¹Dnipro University of Technology MSE of Ukraine, ²MM “Dniprovske”, PJSC “DTEK Pavlohradvuhillia”, ³MM “Heroiv Kosmosu”, PJSC “DTEK Pavlohradvuhillia”

Аннотация. Обоснована актуальная проблема необходимости ресурсосберегающего поддержания сборных штреков для повторного использования в сложных горно-геологических условиях с применением комбинированных анкерных (канатных и сталеполимерных) систем. Это позволит сформировать в весьма слабых породах кровли армопородную плиту высокой несущей способности, которая снизит вертикальные и косонаправленные нагрузки на крепёжную систему и уменьшит напряжённость пород почвы и, как следствие, приведёт к ограничению деформирования крепи и интенсивности пучения почвы. Приведена методика вычислительного эксперимента с последовательным моделированием состояния массива и крепёжной системы (рамное и опорно-анкерное крепление, комбинированная анкерная система, центральные и боковые стойки крепи усиления). Учтены прочностные и деформационные характеристики литотипов с ослабляющими факторами (трещиноватость, обводненность, слоистость и слабое сцепление между слоями). Изложен анализ результатов вычислительных экспериментов по исследованию методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния разных (базовой и рекомендуемой) крепёжных и охранных систем повторно используемых подготовительных выработок и установлено, что в весьма сложных горно-геологических условиях их поддержания нагрузка на все без исключения грузонесущие элементы крепёжной и охранной конструкции в составе: крепи КШПУ, опорно-анкерного крепления, комбинированной анкерной системы в кровле, центральных податливых гидростоек и боковых стоек крепи усиления, а также приближенной к охраняемой выработке органной крепи – снижается и составляет 45-86 % от величины базового варианта. Определение размеров областей разупрочнения вокруг штреков выполнено в два этапа (на участке вне и в зоне влияния очистных работ). Обоснована и построена геомеханическая модель поддержания штрека позади лавы, проведён расчёт и анализ её напряженно-деформированного состояния. Исследована эффективность применения канатных анкеров для ограничения процесса расслоения массива в сложных горно-геологических условиях.

Ключевые слова: подготовительная выработка, элементы крепи и охраны, напряжения, расчет, поддержание, повторное использование

Введение. Анализ горно-геологических и горнотехнических условий отработки Восточного крыла бремсберговой части шахтного поля (панель №3) шахты «Юбилейная» [1] однозначно указал на главную проблему при повторном использовании сборных штреков – весьма неустойчивый углевмещающий массив (особенно в кровле пласта С₆), многие литотипы которого имеют радикально низкие (даже по меркам Западного Донбасса) прочностные и деформационные характеристики, налагающиеся на активное воздействие ещё более ослабляющих породу факторов: трещиноватость, обводненность, практическое отсутствие сцепления между слоями. Экспертной оценкой прогнозируется весьма проблемное поддержание сборных штреков для повторного использования в

таких сложных горно-геологических условиях без вовлечения самого породного массива в работу по противодействию силам горного давления в результате применения комбинированных анкерных систем. Комбинация канатных и сталеполимерных анкеров (при рациональных параметрах их установки) позволит сформировать армопородную плиту высокой несущей способности (даже в очень слабых породах), которая не только защитит рамную крепь штрека от интенсивного вертикального и косонаправленного горного давления, но и снизит напряжённость пород почвы. Этот эффект в комплексе с анкерным упрочнением непосредственной почвы (по глубине нижней подрывки штрека) и её разгрузки путём создания подобия бутовой полосы (при провоцировании обрушения очень слабых пород кровли) ограничит боковую нагрузку на крепь штрека и интенсивность пучения пород его почвы. Поэтому для исследования данной проблемы было принято решение о применении в 603 сборном штреке комбинированной анкерной системы [2] в сочетании с рамной крепью, опорно-анкерным креплением [3, 4] и центральными и боковыми стойками крепи усиления.

Методика исследований. Учёт указанных обстоятельств методика исследований МКЭ [2] предусматривает следующим образом. На первом этапе моделируется состояние массива (рис. 1) и крепёжной конструкции (рис. 2) на участке вне зоны влияния очистных работ. Это необходимо для расчёта НДС геомеханической системы «массив – крепь», по параметрам распределения которой в приконтурных породах определяются размеры зон разупрочнения пород вокруг выемочного штрека, что учтено при построении геомеханической модели на участке сборного штрека позади лавы.

Для объективности и достоверности расчётов НДС смоделированы реальные крепёжные конструкции, возводимые на разных участках поддержания выемочной выработки. Поэтому сравнительный анализ НДС массива проведён для двух вариантов крепёжной конструкции (рис. 2): первый – по технической документации шахты, который для удобства изложения материала назван «базовым»; второй вариант – назван «рекомендуемый» и построен по предварительным экспертным оценкам [1] состояния породного массива и опыта поддержания повторно-используемых выемочных выработок.

Определение размеров областей разупрочнения вокруг штреков на участке вне зоны влияния очистных работ выполнено в два приёма (приближения). Первое приближе-

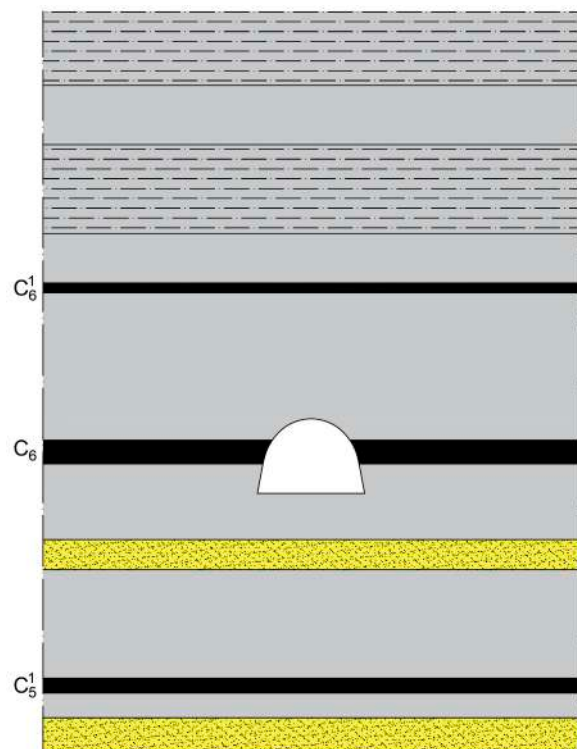


Рисунок 1 – Моделируемая текстура угольняющей толщи пласта С6

ние выполняется по компонентам НДС, полученным при моделировании целостного строения каждого литотипа углевмещающей толщи. Далее внутри областей разупрочнения изменяются механические характеристики пород в соответствии с исследованиями [5-7] запредельного состояния основных литотипов Западного Донбасса. Пониженные механические свойства пород внутри областей разупрочнения при повторном расчёте НДС модели (второе приближение) вносят коррективы в размеры областей разупрочнения и с их учётом используются в дальнейшем при построении модели геомеханической системы поддержания сборного штрека позади очистного забоя. Описанная методика двухстадийного приближения позволяет более адекватно и достоверно оценить изменения состояния приконтурных пород на участке вне зоны влияния очистных работ и внести эти изменения в модель участка поддержания сборного штрека на границе с выработанным пространством.

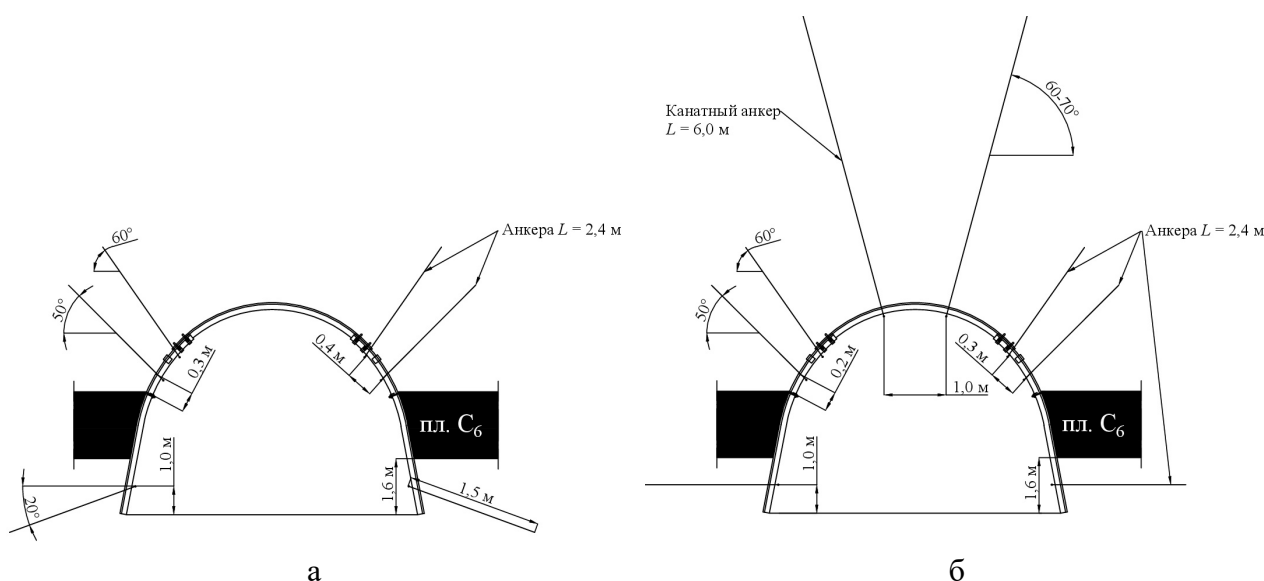


Рисунок 2 – Варианты крепёжных конструкций в период проведения выемочных штреков:
а – базовая; б – рекомендуемая

Вторая часть исследований заключается в обосновании и построении геомеханической модели поддержания сборного штрека позади лавы, расчёте и анализа её НДС для базового и рекомендуемого вариантов.

Модель поддержания сборного штрека, изучающая возможность его повторного использования, подвержена ряду изменений (рис. 3) по сравнению с моделью системы «массив – крепь» вне зоны влияния очистных работ. Во-первых, вокруг штрека отражаются области разупрочнения (с пониженными прочностными и деформационными характеристиками), установленные на участке выработки вне зоны влияния очистных работ. Во-вторых, моделируются в выработанном пространстве обе характерные зоны нарушения сплошности массива [8]: зона беспорядочного обрушения и зона шарнирно-блокового сдвижения с соответствующими изменениями механических характеристик. В-третьих, добавлены базовая и рекомендуемая охранные конструкции сборных штреков, а также элементы крепи усиления, возводимые впереди и позади очистного забоя. В итоге построены и проведены исследования по двум геомеханическим

моделям – базовая (рис. 4) и рекомендуемая (рис. 5) – поддержания сборного штрека позади лавы для его повторного использования.

Сравнительный анализ НДС близлежащего массива, базового и рекомендуемого вариантов поддержания сборных штреков формирует комплекс выводов, по которым разрабатывается система рекомендаций по креплению и охране выемочных штреков, обеспечивающих их повторное использование.

Формирование областей разупрочнения вокруг штрека на участке вне зоны влияния очистных работ. По результатам проведённых вычислительных экспериментов определены границы областей разупрочнения пород вокруг сборного штрека на участке вне зоны влияния очистных работ (см. рис. 3). Общим для всех областей является относительное геометрическое подобие их формы:

- в кровле штрека образуется форма, напоминающая свод предельного равновесия по проф. М.М. Протодяконову;
- в почве штрека образуется подобие «перевернутого» свода предельного равновесия; в обеих областях (в кровле и почве) главной причиной их формирования является действие растягивающих вертикальных σ_y и горизонтальных напряжений σ_x , а также комбинация растягивающих σ_x с сжимающими σ_y ;
- в боках штрека области разупрочнения пород имеют симметричную (относительно его вертикальной оси) форму, вытянутую в кровлю и почву под некоторыми углами, характеризующими действие концентраций интенсивности

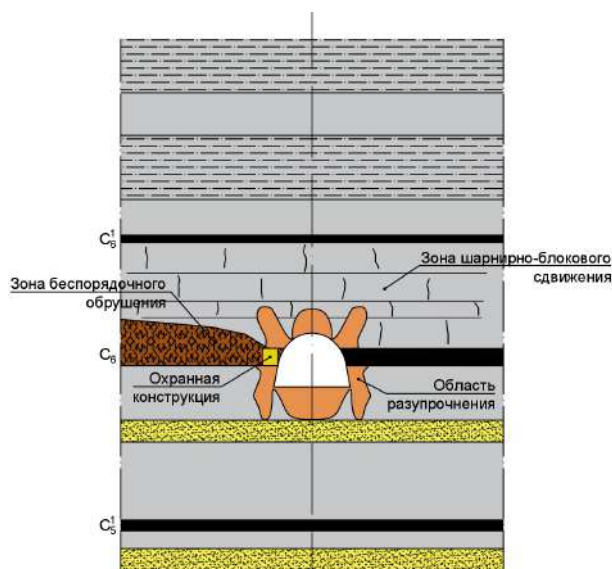


Рисунок 3 – Моделируемое сложение массива позади очистного забоя

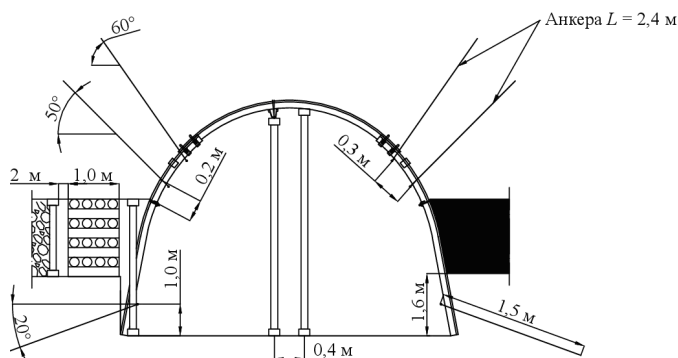


Рисунок 4 – Базовая схема поддержания сборного штрека позади очистного забоя

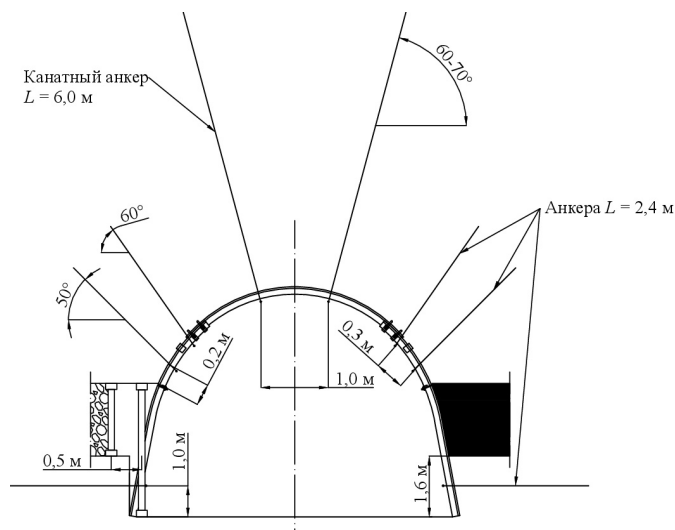


Рисунок 5 – Рекомендуемая схема поддержания сборного штрека позади очистного забоя

напряжений σ , а также концентраций сжимающих σ_y в комбинации с растягивающими σ_x .

Абсолютные значения размеров областей разупрочнения пород отличаются для разных схем крепления как в первом, так и во втором приближениях расчёте НДС геомеханических моделей.

Для первого приближения расчёта установлены такие результаты. В кровле штрека высота свода разупрочнения пород сокращается на 33 % при использовании рекомендуемой схемы крепления. При этом ширина свода изменяется малосущественно – не более, чем на 8 %. Если сравнить базовую и рекомендуемую схемы крепления, то их отличие в кровле состоит только в установке канатных анкеров. Их закрепление на более удалённых участках кровли сдерживает развитие расслоения приконтурных пород, в результате чего и ограничивается область разупрочнения. Таким образом, первое приближение, в определенном смысле, можно рассматривать как начало процесса расслоения приконтурных пород – переход от их целостного состояния к развитию нарушений. Уже на данной стадии деформирования приконтурных пород заметны снижения в размерах областей их разупрочнения при рекомендуемой крепи помимо свода предельного равновесия в кровле:

- в боковой части непосредственной кровли высота (от угольного пласта) разупрочнения сокращается на 13 %, а ширина области – на 45-47 %;
- в пределах мощности угольного пласта снижение ширины области происходит на 25-39 %;
- в боковой части непосредственной почвы глубина разупрочнения сокращается на 6 %, а ширина области – на 19-30 %; малое изменение глубины разупрочнения обусловлено, в том числе, её подходом к песчанику;
- под штреком в непосредственной почве глубина разупрочнения пород снижается на 27 %, ширина на 9 %.

Второе приближение можно рассматривать как развитие процесса расслоения, но основные тенденции влияния рекомендуемой схемы крепления остались неизменными:

- свод предельного равновесия в кровле ограничивается по высоте на 28 % и по ширине на 18 %;
- в боковой части непосредственной кровли снижение высоты области разупрочнения составляет 28 %; ширина области уменьшается в диапазоне 29-51 %;
- по мощности угольного пласта ширина разупрочнения снижена на 8-26 %;
- в боковой части непосредственной почвы наблюдается малосущественное (до 12 %) сокращение глубины области разупрочнения по причине ограничения развития расслоения песчаником; ширина области разупрочнения сокращается в достаточно широком диапазоне 13-57 %;
- под штреком глубина «перевёрнутого» свода предельного равновесия снижается всего до 18 % и в этом также прослеживается «ограничивающее» влияние песчаника основной почвы; ширина свода предельного равновесия по-прежнему примерно соответствует ширине выработки.

По результатам анализа очевиден вывод о достаточно существенном (хотя и разновеликом) воздействии рекомендуемой схемы крепления на ограничение размеров областей разупрочнения пород вокруг сборного штрека ещё на участке вне зоны влияния очистных работ.

Сравнительный анализ НДС элементов схем поддержания сборного штрека позади очистного забоя. Для анализа состояния крепёжных и охранных конструкций сборного штрека после прохода лавы (с перспективной его повторного использования) выбрано наиболее информативное представление результатов расчёта НДС, заключающееся в следующем. За основу для сравнения схем поддержания выбран базовый вариант, по отношению к которому в процентном выражении приводятся значения компонент НДС для рекомендуемого варианта. Такой подход напрямую указывает на преимущества и недостатки сравниваемых вариантов. Кроме того, за показатель состояния каждого элемента принят общепризнанный [9, 10] параметр (как в механике горных пород, так и сопротивлении материалов) интенсивность напряжений σ (рис. 6). Этот параметр в интегральной форме отражает действие всех компонент НДС, а в относительном выражении он обозначен нами через σ' . По такому принципу для наглядного отражения результатов сравнительного анализа построено семейство графиков по каждому основному грузонесущему элементу крепёжной и охранной конструкций: рамная крепь, боковые стойки крепи усиления, сталеполимерные и канатные анкера, стойки органного ряда. Поскольку крепёжные и охранные элементы имеют конечные поперечные размеры, то величины σ (в пределах поперечного сечения) берутся максимальных значений.

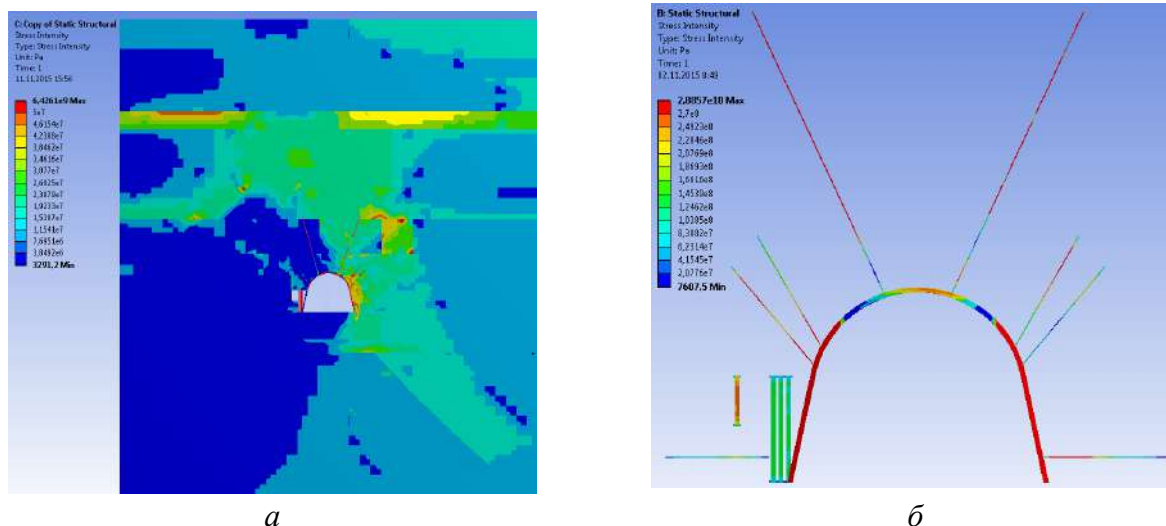


Рисунок 6 – Фрагменты эпюр интенсивности напряжений в углевмещающей толще пород (а) и в элементах крепёжной системы (б) сборного штрека при рекомендуемой схеме его поддержания позади лавы

На рис. 7 показан график распределения σ' по контуру рамной крепи. Отметим главную особенность – повсеместно (по всей длине контура рамы) величина $\sigma' < 100\%$, что указывает на более разгруженное состояние рамной крепи при рекомендуемой схеме поддержания сборного штрека. Минимальные отклонения двух схем поддержания наблюдаются в стойках рамы: 74-85 % со стороны выработанного пространства и 59-91 % со стороны нетронутого массива. В

верхняке рамы происходит более существенная разгрузка: на периферийных участках $\sigma' < 55-71\%$, а в центральной части верхняка $\sigma' = 17-24\%$. Последние цифры имеют своё логическое объяснение. В базовом варианте крепёжной конструкции установлены две центральные стойки крепи усиления, которые, как известно [11] интенсифицируют изгибные напряжения в верхняке благодаря своей высокой жесткости. В рекомендуемом варианте верхняк работает в податливом режиме под защитой армопородной плиты в кровле, что сглаживает концентрации компонент НДС, в том числе и интенсивности напряжений. Поэтому происходит существенная разгрузка верхняка рамы и повышается её устойчивость в целом.

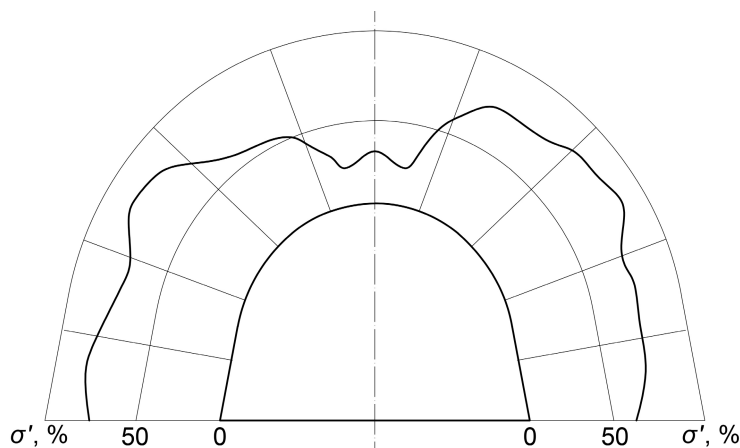


Рисунок 7 – Распределение относительной интенсивности напряжений σ' по контуру рамной крепи

Уровень загруженности сталеполимерных анкеров указывает на эффективность их противодействия сдвиганию приконтурных пород в полость штрека. Поэтому критерий оценки работоспособности сталеполимерных анкеров (так же как и целесообразности их установки) противоположен критерию оценки состояния рамной крепи; так, чем больше нагружен анкер, тем эффективнее его упрочняющее действие на приконтурные породы. С этих позиций было произведено сравнение степени противодействия горному давлению сталеполимерных анкеров базового и рекомендуемого вариантов поддержания сборного штрека; результаты отражают графики σ' на рис. 8. Общая для всех сталеполимерных анкеров закономерность – их более высокая загруженность ($\sigma' > 100\%$) при рекомендуемой крепёжной конструкции. Исключение составляет хвостовая часть (длиной 0,3-0,9 м) анкеров в непосредственной почве, но здесь наблюдается иной механизм нагружения. Так, вектор полных перемещений приконтурных пород почвы в районе нижней части стоек рамы имеет преимущественно горизонтальное направление в полость выработки [12]. При этом наклонно установленные анкера в базовом варианте подвержены изгибу с появлением в арматуре высоких изгибных напряжений. Как известно, анкера активно сопротивляются сдвиганию приконтурных пород, когда они расположены по направлению этого сдвига, а в базовом варианте этого не происходит. Следовательно, повышенная интенсивность напряжений σ вызвана не активным осевым сопротивлением анкеров, а их изгибом, что снижает эффективность упрочняющего действия. На остальных участках сталеполимерных анкеров наблюдается увеличение их

сопротивления на 24-46 %, что указывает на активную работу по формированию армопородных опор в боках штрека для армопородной плиты в кровле, а также на интенсификацию упрочняющего действия в породах непосредственной почвы по глубине нижней подрывки штрека.

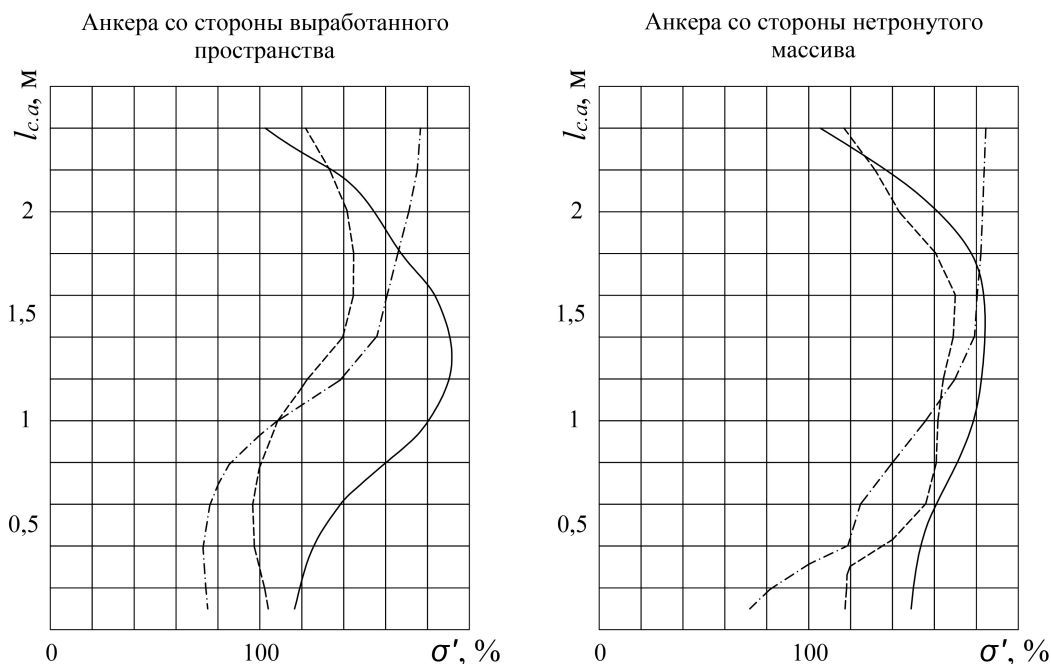


Рисунок 8 – Распределение относительной интенсивности напряжений σ' по длине $l_{c,a}$ стале-полимерных анкеров: — верхний анкер в непосредственной кровле; — — — нижний анкер в непосредственной кровле; - · - · анкер в непосредственной почве

Анализ распределения интенсивности напряжений в канатных анкерах показывает их высокую загруженность, уровень которой существенно превышает результаты вычислительных экспериментов, проведённых для иных горно-геологических условий. Более конкретно отметим, что канатные анкера работают на 85-100 % своей несущей способности по длине, составляющей 75-80 % от активной длины анкеров, размещённых в основной кровле пласта C_8^H , состоящей из слабых трещиноватых аргиллитов и весьма трещиноватого угольного пласта C_8^B . Высокая загруженность канатных анкеров указывает на эффективность их работы по формированию армопородной плиты в кровле и целесообразность выбранных параметров установки. Если предположить, что канатным анкерам удалось скрепить указанные литотипы основной кровли в единую плиту, то, даже с учётом их разбиения на блоки трещинами разрыва, несущая способность такой мощной армопородной конструкции в 3-5 раз превышает несущую способность рамной крепи по самым заниженным оценкам. Тогда очевиден вывод о целесообразности применения канатных анкеров в данной сложной горно-геологической ситуации неустойчивых пород основной кровли.

В обеих схемах поддержания сборного штрека присутствуют также боковые деревянные стойки органного ряда. Они нагружены примерно равноценно с активным противодействием вертикальному горному давлению; поэтому целесообразность применения указанных деревянных стоек не вызывает сомнений, особенно, в плане повторного использования сборных штреков.

Выводы. По результатам исследований состояния массива, крепёжных и охранных конструкций сборных штреков сформулировано ряд выводов и разработаны рекомендации по обеспечению их повторного использования в весьма неустойчивых породах.

Разработанная методика проведения исследований позволяет учесть предысторию деформирования системы «массив – крепь» на участке вне зоны влияния очистных работ для более адекватного и достоверного отражения поведения элементов геомеханической системы после прохода очистного забоя.

На участке поддержания сборных штреков вне зоны влияния очистных работ наблюдается стабильное сокращение размеров областей разупрочнения приконтурных пород при рекомендуемой схеме крепления. Это сокращение происходит вне зависимости от месторасположения областей разупрочнения пород относительно штрека, хотя относительная величина изменяется в широком диапазоне – от 8-13 % до 51-57 %. Таким образом, доказана достаточная эффективность применения канатных анкеров для ограничения процесса расслоения близлежащего массива в сложных горно-геологических условиях.

Установлено, что при рекомендуемой схеме поддержания сборного штрека нагрузка на все без исключения элементы крепёжной и охранной конструкций снижается и составляет 45 – 86% от величины базового варианта.

Сравнительный анализ НДС показал преимущества рекомендуемой схемы поддержания сборного штрека:

- по всему контуру рамной крепи произошла разгрузка элементов её конструкции: в стойках уровня – 59-91 %, в верхняке – 17-71 %;
- возросло на 24-46 % сопротивление сталеполимерных анкеров сдвигу приконтурных пород;
- канатные анкера нагружены в среднем на 80-90 % от своей несущей способности;
- боковые деревянные стойки крепи усиления и стойки ряда органной крепи активно противодействуют вертикальному горному давлению, нагружены примерно равноценно (в обоих вариантах) и целесообразны к применению при поддержании сборных штреков для повторного использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. К обоснованию повышения устойчивости выемочных выработок в весьма слабых породах / И.А. Ковалевская и др. *Уголь Украины*. 2018. №8. С. 3-8.
2. Комбинированные анкерные системы для повторного использования горных выработок / В.И. Бондаренко и др. Дніпро: ЛізуновПрес, 2017. 188 с.
3. Булат А.Ф., Виноградов В.В. Опорно-анкерное крепление горных выработок угольных шахт. Дніпропетровськ, 2002. 372 с.
4. Круковский О.П. Наукові основи технології опорно-анкерного кріплення гірничих виробок вугільних шахт: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.02. Дніпропетровськ, 2012. 38 с.
5. Виноградов В.В. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок. Київ: Наук. думка, 1989. 192 с.
6. Усаченко Б.М. Свойства пород и устойчивость горных выработок. Київ: Наук. думка, 1979. 136 с.
7. Усаченко Б.М., Чередниченко В.Н., Головчанский И.Е. Геомеханика охраны выработок в слабометаморфизированных породах. Київ: Наук. думка, 1990. 144 с.
8. Зборщик М.П., Назимко В.В. Охрана выработок глубоких шахт в зонах разгрузки. Київ: Техніка, 1991. 248 с.
9. Сопротивление материалов / под ред. Г.С. Писаренко. Київ: Вища школа, 1979. 696 с.
10. Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механические процессы в породных массивах. М.: Недра, 1986. 415 с.
11. Взаимодействие грузонесущих элементов крепёжной системы выемочных выработок «массив – рама – анкер» / В.И. Бондаренко и др. Дніпропетровськ: Літограф, 2015. 214 с.
12. Методы расчета перемещений и упрочнения приконтурных пород горных выработок шахт Западного Донбасса /

В.И. Бондаренко и др. Дніпропетровськ: Дріант, 2010. 328 с.

REFERENCES

1. Kovalevskaya, I.A., Simanovich, G.A., Gusev, A.S. and Snigur, V.G. (2018), "To the substantiation of mine working stability in very weak rocks", *Ugol' Ukrainy*, no. 8, pp. 3-8.
2. Bondarenko, V.I., Kovalevskaya, I.A., Simanovich, G.A., Barabash, M.V., Snigur, V.G. and Gusev, A.S. (2017), *Kombinirovannyye ankernyye sistemy dlya povtornogo ispol'zovaniya gornyykh vyrabotok* [Combined anchor systems for mine working reuse], LizunovPres, Dnipro, Ukraine.
3. Bulat, A.F. and Vinogradov, V.V. (2002), *Oporno-ankernoe kreplenie gornyykh vyrabotok ugolnykh shakht* [Bearing anchoring supporting of coal mine workings], Dnipropetrovsk, Ukraine.
4. Krukovskiy, O.P. (2012), "Scientific foundation of bearing anchoring supporting of coal mine workings", Abstract of D.Sc. dissertation, Underground mining of mineral deposits, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under NAS of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine.
5. Vinogradov, V.V. (1989), *Geomekhanika upravleniya sostoyaniem massiva vblizi gornyykh vyrabotok* [Geomechanics of massif control condition near the mine workings], Naukova dumka, Kyiv, Ukraine.
6. Usachenko, B.M. (1979), *Svoystva porod i ustoychivost gornyykh vyrabotok* [Rock properties and mine working stability], Naukova dumka, Kyiv, Ukraine.
7. Usachenko, B.M., Cherednichenko, V.N. and Golovchanskiy I.Ye. (1990), *Geomekhanika okhrany vyrabotok v slabometamorfizirovannykh porodakh* [Geomechanics of mine working protection in a slightly metamorphized rocks], Naukova dumka, Kyiv, Ukraine.
8. Zborshchik, M.P. and Nazimko, V.V. (1991), *Okhrana vyrabotok glubokikh shakht v zonakh razgruzki* [Mine working protection of deep mines in discharged zones], Tekhnika, Kyiv, Ukraine.
9. Pisarenko, G.S. (ed.) (1979), *Soprotivleniye materialov* [Strength of materials], Vyscha shkola, Kyiv, Ukraine.
10. Baklashov, I.V. and Kartoziya, B.A. (1986), *Mekhanicheskie protsessy v porodnykh massivakh* [Mechanical process in rock masses], Nedra, Moscow, USSR.
11. Bondarenko, V.I., Kovalevskaya, I.A., Simanovich, G.A., Barabash, M.V. and Gusev, A.S. (2015), *Vzaimodeystvie gruzonesushchikh elementov krepznoy sistemy vyemochnykh vyrabotok «massiv – rama – anker»* [Interaction of mine working support system bearing elements "massif – frame – anchor"], LitoHraf, Dnipro, Ukraine.
12. Bondarenko, V.I., Kovalevskaya, I.A., Simanovich, G.A., Martovitskiy, A.V. and Kopylov, A.F. (2010), *Metody rascheta peremeshcheniy i uprochneniya prikonturnykh porod gornyykh vyrabotok shakht Zapadnogo Donbassa* [Methods of displacement calculation and surrounding rock strengthening of mine workings in Western Donbass], Driant, Dnipropetrovsk, Ukraine.

Об авторах

Ковалевская Ирина Анатольевна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры подземной разработки месторождений, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника» МОН Украины (НТУ «ДП» МОН Украины), Днепр, Украина, kovalevska_i@yahoo.com

Гусев Александр Станиславович, кандидат технических наук, директор ШУ «Днепропетровское» ЧАО «ДТЭК Павлоградуголь», Павлоград, Украина, GusevAS@dttek.com

Снигур Василий Григорьевич, кандидат технических наук, директор ШУ «им. Героев Космоса» ЧАО «ДТЭК Павлоградуголь», Павлоград, Украина, SnigurVG@dttek.com

Малова Ольга Кузьминична, научный сотрудник кафедры подземной разработки месторождений, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника» МОН Украины (НТУ «ДП» МОН Украины), Днепр, Украина, olga.malova.umd@gmail.com

About the authors

Kovalevska Iryna Anatoliivna, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Professor of the Underground Mining Department, Dnipro University of Technology MSE of Ukraine, Dnipro, Ukraine, kovalevska_i@yahoo.com

Husiev Oleksandr Stanislavovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Director of the MM "Dniprovske" PJSC "DTEK Pavlohradvuhillia", Pavlohrad, Ukraine, GusevAS@dttek.com

Snihur Vasyi Hryhorovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Director of the MM "Heroiv Kosmosu" PJSC "DTEK Pavlohradvuhillia", Pavlohrad, Ukraine, SnigurVG@dttek.com

Malova Olha Kuzmivna, Researcher of the Underground Mining Department, Dnipro University of Technology MSE of Ukraine, Dnipro, Ukraine, olga.malova.umd@gmail.com

Анотація. Обґрунтовано актуальну проблему необхідності ресурсозберігаючої підтримки збірних штретів для повторного використання у складних гірничо-геологічних умовах із застосуванням комбінованих анкерних (канатних і сталеполімерних) систем. Це дозволить сформувати в дуже слабких породах покрівлі армопородную плиту високої несучої здатності, яка знизить вертикальні і косо направлені навантаження на кріпильну систему та зменшить напруженість порід підшоши, і як наслідок, призведе до обмеження деформування кріплення та інтенсивності здирання підшоши. Наведено методику проведення обчислювального експерименту з послідовним моделюванням стану масиву і кріплення системи (рамне й опорно-анкерне кріплення, комбінована анкерна система, центральні і бічні стояки кріплення посилення). Враховано міцнісні і деформаційні характеристики літотипів з послаблюючими факторами (тріщинуватість, обводненість, шаруватість і слабе зчеплення між шарами). Викладено аналіз

результатів обчислювальних експериментів з дослідження методом скінченних елементів напружено-деформованого стану різних (базової і рекомендованої) кріпильних і охоронних систем підготовчих виробок, які повторно використовуються, і встановлено, що в досить складних гірничо-геологічних умовах їх підтримки навантаження на всі без винятку вантажонесучі елементи кріпильної й охоронної конструкції у складі: кріплення КШПУ, опорно-анкерного кріплення, комбінованої анкерної системи в покрівлі, центральних піддатливих гідростояків і бічних стояків кріплення посилення, а також наближеного до виробки, що охороняється, органного кріплення – знижується і становить 45-86 % від величини базового варіанту. Визначення розмірів зон знеміцнення навколо штреків виконано в два етапи (на ділянці поза зоною і в зоні впливу очисних робіт). Обґрунтовано і побудовано геомеханічну модель підтримки штреку позаду лави, проведено розрахунок і аналіз її напружено-деформованого стану. Досліджено ефективність застосування канатних анкерів для обмеження процесу розшарування масиву в складних гірничо-геологічних умовах.

Ключові слова: підготовка виробки, елементи кріплення і охорони, напруження, розрахунок, підтримання, повторне використання

Abstract. The actual problem of the necessity resource-saving conveyor drifts support for reuse in a difficult mining and geological conditions using combined (cable and steel-polymer) anchor systems is substantiated. This will make it possible to form in very weak roof rocks an reinforced bearing plate of high load-carrying capability, which reduce vertical and oblique loads on the support system and decrease the floor and roof rock stress, as a result, it will lead to the limitation of support deformation and floor heaving intensity. The technique of computational experiment with sequential modeling of the rock massif state and support system (frame and bearing anchoring, central and side reinforcement supports) is given. The strength and deformation characteristics of lithotypes with weaken factors (fracturing, layering and weak adhesion between layers) are taken into account. The analysis of the computational experiments results on the finite-element method of stress-strain state of different (basic and recommended) supporting and protected systems of reusable workings is described and in a very difficult mining and geological conditions of their maintenance, the load on all the load-carrying elements of the supporting and protected structures consisting of: support STUL, support-anchor, combined anchor system in the roof, central compliant hydro-posts and side racks of reinforcement, as well as close to the protected production of breaker props reduced and amounts to 45-86 % of the value of the base case is determined. The sizes of softening areas around the drifts are carried out in two stages (outside and in the zone of longwall operation influences). The geomechanical model for drift maintaining behind the longwall face is substantiated, and its stress-strain state is calculated and analyzed. The effectiveness of cable anchors use for restriction of process stratification in a difficult mining and geological conditions is investigated.

Keywords: mine workings, elements of support and protection, stress, calculation, supporting, reuse

Статья поступила в редакцию 15.01.2019

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук В.Г. Шевченко