

УДК. 665.66:614.89

<https://doi.org/10.33271/crpnmu/59.043>© В.А. Соцков¹, Н.И. Деревягина¹¹ Национальный технический университет «Днепровская политехника», Днепр, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗАКЛАДКИ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ СЕЛЕКТИВНОЙ ДОБЫЧЕ УГЛЯ

© V. Sotskov¹, N. Dereviahina¹¹ Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

THE RATIONAL PARAMETERS OF BACKFILLING OF THE WORKED- OUT AREA DEFINITION AT THE SELECTIVE COAL MINING

Цель. Целью выполненного вычислительного эксперимента является определение факторов воздействия механических и геометрических параметров бутовых полос воздвигаемых из пресекаемых пород при селективной выемки угля на состояние геомеханической системы сопряжения выемочной и очистной выемки. Полученные закономерности обеспечивают оптимальный выбор технологического решения применения частичной закладки при различных горно-геологических условий в мелкослоистом породном массиве.

Методика. Вычислительный эксперимент проведен с использованием метода конечных элементов при моделировании трехмерной расчетной области геомеханической системы. Породный массив представлен двенадцатью слоями пород и угольным пластом. При проведении расчета соседние породные слои свободно перемещаются относительно друг друга. Расчет напряжений и деформаций выполнен в полноразмерном блоке 300×160×50 м, который включает в себя нетронутый массив, очистную и две подготовительные выработки. Моделирование механических характеристик бутовых полос выполнено при помощи дополнительных аналитических расчетов. Окончательные выводы основываются на анализе изменений величины деформаций породных слоев непосредственной кровли очистной выработки.

Результаты. Выполненные расчеты состояние геомеханической системы сопряжений очистной и выемочной выработок позволили определить характерные зоны нарушенного породного массива, которые определяют механизм развития обрушения кровли очистной выработки с учетом влияния параметров закладки. Анализ напряженно-деформированного состояние геомеханической системы в кровле очистной выработки по выбранным поперечным сечениям позволил определить условия взаимодействия породных слоев в результате которого происходит опускание кровли на бутовые полосы.

Научная новизна. Использование для определения оптимальных параметров закладки выработанного пространства анализа продольных горизонтальных напряжений позволяет однозначно определить тип и геометрические параметры схемы охраны выработанного пространства очистной выработки при различных прочностных и геометрических параметрах нарушенного породного массива. Выявленные закономерности взаимодействия кровли очистной выработки и элементов закладки определяют оптимальные условия управления кровлей очистной выработки при селективной выемке угля.

Практическая значимость. Полученные закономерности изменения напряженно-деформированного состояния геомеханической системы очистной выработки при различных условиях частичной закладки выработанного пространства позволили определить механизм выбора скорости подвигания очистного забоя, типа и геометрических параметров воздвигаемых бутовых полос. Это позволяет обеспечить минимизацию затрат на внутреннюю логистику

добычного участка, снизить себестоимость очистных работ и повысить безопасность горнорабочих очистного забоя. Разработанная методика позволяет на этапе проектирования выбирать оптимальные условия функционирования очистного забоя без проведения дополнительных геологических изысканий.

Ключевые слова: породный массив, очистная выработка, напряженно-деформированное состояние, секция крепи, частичная закладка, бутовая полоса.

Актуальность. Применение селективной выемки угля позволяет решить ряд проблем возникающих при ведении очистных работ на угольных пластах мощностью менее одного метра. Однако, основной исходной проблемой этой технологии добычи угля является значительные объем пресекаемой породы, которую изначально планировалось транспортировать на поверхность. Но создание технологии закладки выработанного пространства пресекаемой породой позволило решить эту проблему. Границы и степень эффективности применение этой технологии для охраны выемочных выработок определяет объем доступной для закладки породы. Точнее соотношения свободного объема выработанного пространства и объема пресекаемой породы.

Данное соотношение определяет возможность выбора одного из двух вариантов закладки – сплошной или бутовыми полосами. Сплошная закладка возможна только при условии значительных величин высоты пресекаемых пород, когда при добычи одного объема угля извлекается не менее 0,8 объема породы. Для бутовых полос это ограничение не имеет смысла, поскольку при их формировании существует возможность выбора расстояния между ними. Этот геометрический фактор является не единственным, влияющим на формат закладки выработанного пространства за очистным забоем. В ряде случаев механические характеристики пород требуют оптимизации метода закладки. Это связано с целью обеспечения эксплуатационных требований для сопряженных очистной и выемочной выработок. Параметры закладки могут быть определяющим фактором влияющим на работу крепи выработок и развитие деформаций их контуров.

Постановка задачи. При сплошной закладке для пресекаемых пород на основе экспериментальных данных приведенных в работах [1-3] принимаем модуль упругости $E = 50$ МПа и коэффициент разрыхления $K_p = 1,45$. Естественным образом принимаемые значения не являются абсолютными, поскольку коэффициент разрыхления пресекаемой породы зависит от ее механической прочности и технологии добычи угля. В свою очередь остаточные деформационные характеристики породы, используемой при закладке, определяются исходя из геометрических параметров ее разрыхления. Таким образом, выбранные параметры пресеченных пород являются усредненными и характерными для рассматриваемой технологии добычи угля и механических свойств пород в шахтах Западного Донбасса.

При рассмотрении эффективности применения различных вариантов закладки выработанного пространства очистной выработки будут использованы три варианта высоты пресекаемых пород 0,5 м, 0,6 м и 0,7 м. Для каждого из этих вариантов необходимо вычислить объем породы после ее разрыхления.. Выполним это расчет на основе формулы

$$V_p = K_p \cdot V, \quad (1)$$

где V_p – объем пресекаемой породы в результате разрыхления; V – объем пресекаемой породы до извлечения из горного массива.

В результате, для выбранных технологических значений, эквивалент линейных размеров по высоте пресекаемых пород до и после разрыхления составит соответственно : для 0,5 м – 0,73 м; для 0,6 м – 0,87 м; для 0,7 м – 1,02. Полученные величины в дальнейшем будут использованы для проведения вычислительного эксперимента по определению напряженно-деформированного состояния геомеханической системы сопряжения очистной и выемочной выработки.

Для бутовых полос при закладке выработанного пространства выберем следующие значения модуля упругости $E = 500$ МПа и коэффициент разрыхления $K_p = 1,2$. Опять воспользуемся выражением (1) и получим эквивалент линейных размеров по высоте пресекаемых пород до и после разрыхления с учетом пневмо уплотнения: для 0,5 м – 0,6 м; для 0,6 м – 0,72 м; для 0,7 м – 0,84.

Исходя из полученных данных определим технологические параметры бутовых полос при различной высоте пресекаемых пород. Основой для расчетов первого этапа выберем выражение

$$V_b = b \cdot h \cdot l, \quad (2)$$

где V_b – объем выработанного пространства за один проход комбайна; b , l – высота и длина очистного забоя, соответственно; h – ширина захвата рабочего органа комбайна.

Для значений $b = 1$ м, $l = 250$ м и $h = 0,8$ м получим

$$V_b = 1 \cdot 0,8 \cdot 250 = 200 \text{ м}^3. \quad (3)$$

Если в качестве значений b использовать эквивалентные размеры полученные для разрыхленных пород, то получим объемы которые можно использовать при закладке выработанного пространства очистной выработки.

Для значений сплошной закладки получаем

$$\begin{aligned} V_{0,5} &= 0,73 \cdot 0,8 \cdot 250 = 146 \text{ м}^3, \\ V_{0,6} &= 0,87 \cdot 0,8 \cdot 250 = 174 \text{ м}^3, \\ V_{0,7} &= 1,02 \cdot 0,8 \cdot 250 = 204 \text{ м}^3. \end{aligned} \quad (4)$$

Для бутовых полос с учетом пневмо уплотнения пород имеем

$$\begin{aligned} V_{0,5u} &= 0,6 \cdot 0,8 \cdot 250 = 120 \text{ м}^3, \\ V_{0,6u} &= 0,72 \cdot 0,8 \cdot 250 = 144 \text{ м}^3, \\ V_{0,7u} &= 0,84 \cdot 0,8 \cdot 250 = 168 \text{ м}^3. \end{aligned} \quad (5)$$

Полученные в уравнениях (3.2.5) значения используем для определения геометрических характеристик бутовых полос при закладке выработанного пространства очистной выработки. Вычислим остаточный объем выработанного пространства не заполняемый бутовыми полосами по формулам

$$\begin{aligned}V_{0,5e} &= V_b - V_{0,5u} = 200 - 120 = 80 \text{ м}^3, \\V_{0,6e} &= V_b - V_{0,6u} = 200 - 144 = 56 \text{ м}^3, \\V_{0,7e} &= V_b - V_{0,7u} = 200 - 168 = 32 \text{ м}^3.\end{aligned}\tag{6}$$

Теперь учитывая, что за один проход на один погонный метр перемещения комбайна приходится $0,8 \text{ м}^3$ выработанного объема, получим общую длину незабутованного пространства в рассматриваемой очистной выработке: для $V_{0,5e}$ – 100 м; для $V_{0,6e}$ – 70 м; для $V_{0,7e}$ – 40 м. Соответственно, для $V_{0,5e}$ ширина бутовой полосы составит 7,5 м, расстояние между соседними полосами 5 м; для $V_{0,6e}$ – ширина 9 м, расстояние 3,5 м и для $V_{0,7e}$ – ширина 10,5 м, расстояние 2 м.

Таким образом, сформированы основные технологические параметры определяющие пределы и возможность реализации различных типов закладки выработанного пространства за очистным забоем в зависимости от механических характеристик пород горного массива и геометрии сопряжения очистной и выемочной выработки. Описанные параметры для закладки очистной выработки обеспечивают возможность выбора оптимальных геометрических величин бутовых полос в зависимости от технологии добычи угля, длины очистного забоя и высоты пресекаемых пород.

Влияние технологических параметров бутовых полос и сплошной закладки выработанного пространства. Развитие деформационных процессов контура очистной выработки происходит за счет перемещения кровли и почвы выработки. Это обусловлено большой протяженностью очистного забоя в совокупности с малой высотой выработки. Опускание кровли и подъем почвы очистной выработки происходит по принципу плоскопараллельных смещений ориентированных перпендикулярно оси силы тяжести [4-6]. В таком случае, доминирующими усилиями обеспечивающими равновесие геомеханической системы очистной выработки становятся вертикальные напряжения. Данные напряжения так же оказывают формирующее влияние на другие компоненты напряженно-деформированного состояния горного массива в зонах примыкающих к очистному забою и выемочным выработкам.

Быстрый рост деформаций вызываемый вертикальными напряжениями в кровле выработки приводит к высокой скорости трещинообразования. Появление магистральных трещин препятствует диссипации накопленной энергии деформации пород и как следствие приводит к неконтролируемому разрушению приконтурных породных слоев. В результате при движении очистного забоя возрастает горное давление в зоне размещения механизированной крепи и происходит разупрочнение пород кровли выемочной выработки, что приводит к ухудшению ее эксплуатационных характеристик. Поэтому изначально, для понимания процессов протекающих при деформировании контура сопряженных выработок, проанализируем картину распределения вертикальных напряжений в горном массиве.

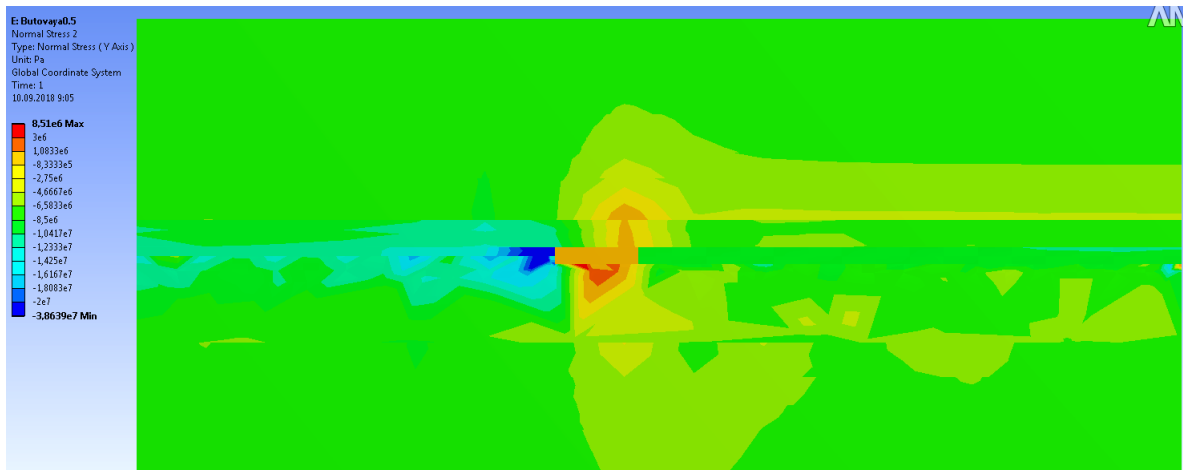


Рис. 1. Вертикальные напряжения в поперечном разрезе на расстоянии 0,5 м от выемочной выработки при закладке бутовыми полосами с высотой пресекаемых пород 0,5 м.

Начнем рассмотрение объемных эпюр вертикальных напряжений со сравнения степени влияния технологических параметров бутовых полос в выработанном пространстве очистной выработки на НДС в боку выемочной. На рис. 1 представлена картина напряжений в поперечном, относительно плоскости очистного забоя сечении породного массива расположенного в полуметре от плоскости сопряжения выемочной и очистной выработок. В центре располагается модель механизированной крепи в виде параллелепипеда высотой один и шириной пять с половиной метров. Слева от данной модели расположен нетронутый горный массив, справа очистная выработка с бутовыми полосами или сплошной закладкой. Данное расположение сохраняется для всех подобных эпюр далее.

Общий анализ эпюр представленных на рис. 1 и на рис. 2 показал следующее:

свыше 90 % расчетной модели находится под воздействием сжимающих напряжений, что верно для условий упругой постановки задачи и соответствует условиям приложения вертикальной нагрузки на верхнюю и нижнюю грани модели;

максимальные сжимающие напряжения располагаются перед плоскостью очистного забоя в сторону нетронутого горного массива, что согласуется с опытом замера изменения напряжений в натуральных условиях;

формирование зон растягивающих напряжений вызвано воздействием модели механизированной крепи на прилегающие породные слои, что хорошо соотносится с реальными условиями ее эксплуатации [7,8];

вертикальные напряжения в кровле выработки превосходят напряжения в ее почве, что подтверждается опытом эксплуатации очистных выработок в условиях Западного Донбасса.

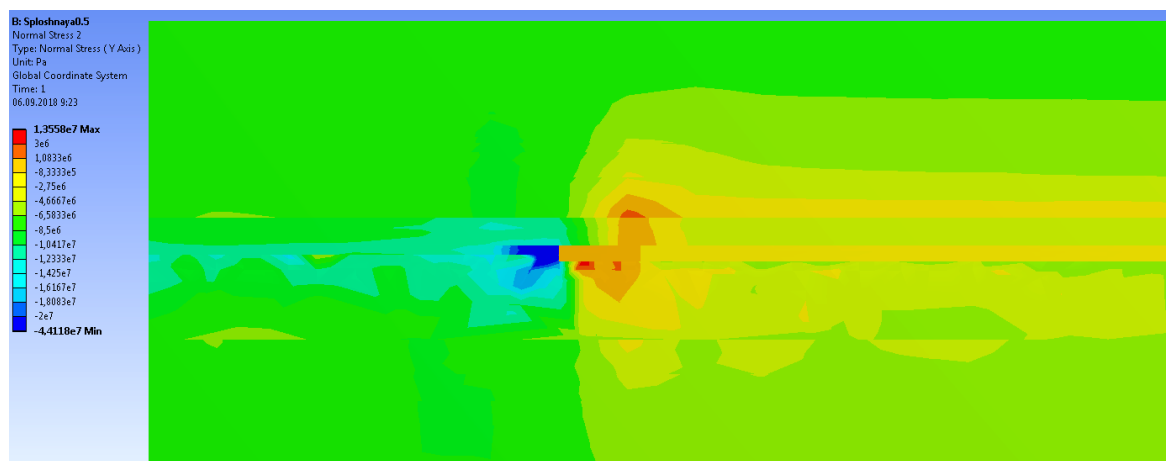


Рис. 2. Вертикальные напряжения в поперечном разрезе на расстоянии 0,5 м от выемочной выработки при сплошной закладке с высотой пресекаемых пород 0,5 м

Диапазон максимальных напряжений для всех трех расчетов совпадает практически полностью, отклонения составляют менее 5 %, что вписывается в расчетную погрешность. Качественное распределение вертикальных напряжений имеет общий для всех расчетов характер, но величина и размер зоны интенсивного градиента напряжений в кровле очистной выработки растет от варианта 0,7 м до варианта 0,5 м высоты пресекаемых пород. При этом напряжения в почве очистной выработки наоборот уменьшаются, но с вдвое меньшей скоростью.

Влияние растягивающих напряжений на состояние кровли очистной выработки локализуется в зоне примыкающей к механизированной крепи. В результате на удалении более пяти метров от модели механизированной крепи градиент вертикальных напряжений в кровле очистной выработки направленный горизонтально равен нулю.

Таким образом, применение бутовых полос для обеспечения приемлемых эксплуатационных характеристик сопряжения очистной и выемочной выработок позволяет добиться равномерного распределения нагрузки на крепь и охранные конструкции выемочной крепи в вертикальном направлении, что должно снизить вероятность магистрального трещинообразования и уменьшить размеры зон разупрочнения приконтурного горного массива. С другой стороны, изменение высоты пресекаемых пород не вызывает изменений в режиме работы механизированной крепи и не влияет на распределение напряжений в нетронутом массиве за плоскостью очистного забоя.

Эпюра представленная на рис. 2 содержит ряд особенностей нехарактерных для вариантов расчетов с бутовыми полосами. Основным отличием этой эпюры является изменение картины напряжений в кровле очистной выработки в области породного массива примыкающей к модели механизированной крепи.

Во-первых, влияние механизированной крепи на распределение напряжений в кровле выработки распространяется на 10 – 15 м в сторону выработанного пространства при увеличении максимальных напряжений, относительно расчетов с бутовыми полосами, на 21 - 24 %. Это указывает на то, что применение

сплошной закладки позволяет вовлечь в процесс стабилизации кровли выработки большой объем пород. Однако, эта особенность полностью нивелируется ростом вертикальных напряжений. Значит накопление потенциальной энергии деформации кровли для вариантов расчетов, представленных на рис. 1 и рис. 2 количественном показателе происходит одинаково. За счет изменения величины и геометрического размера градиента вертикального напряжения при сплошной закладке растет, относительно бутовых полос, расстояние между магистральными трещинами. Что приводит к формированию породных блоков большего размера [9].

Во вторых, максимальные сжимающие напряжения расположены перед плоскостью очистного забоя в нетронутом породном массиве. Величины этих напряжений больше, полученных для бутовых полос, и растут экспоненциально с увеличением высоты пресекаемых пород от 20 до 50 %. При этом на эпюре, рис. 2, наблюдается резкий скачек сжимающих напряжений в зоне контакта модели механизированной крепи и кровли очистной выработки. Такая особенность характерна и для других эпюр, представленных на рис. 2. Это указывает на изменение характера взаимодействия механизированной крепи и породного массива. Передняя и задняя часть стойки механизированной крепи находятся под воздействием знакопеременной нагрузки, что повышает вероятность посадки на «жесткое» [10-12]. Здесь и далее под определением знакопеременной нагрузки будем понимать состояние, при котором в выделенном объеме расчетной модели одновременно формируются поле напряжений характеризующие сжатие и растяжение материала.

Исходя из полученных результатов, делаем вывод: поведение приконтурного породного массива при бутовых полосах и сплошной закладках описывается линейными и экспоненциальными закономерностями, которые вызывают рост разницы максимальных вертикальных напряжений с увеличением высоты пресекаемых пород.

Область повышенных сжимающих напряжений при сплошной закладке для расчетов на высоту пресекаемых пород 0,6 м и 0,7 м имеет схожую форму и качественно отличается от варианта 0,5 м. Для этих вариантов расчетов характерно увеличение в 1,5 раза сжимающих напряжений в непосредственной кровле очистного забоя над механизированной крепью. Это указывает на тот факт, что с увеличением объема пресекаемых пород при сплошной закладке изменение напряженно-деформированного состояния породного массива не происходит. Однако, так же стабильно, относительно расчетов для высоты пресекаемых пород 0,5 м, увеличивается давление на механизированную крепь, что указывает на возрастание вероятности посадки на «жесткую» стоек механизированной крепи.

По результатам анализа эпюр вертикальных напряжений были сделаны следующие выводы:

– эксплуатационное состояние выемочной выработки при закладке бутовыми полосами, для рассматриваемых горно-геологических условий, обеспечивается лучше, чем при сплошной закладке;

– при закладке бутовыми полосами изменение вертикальных напряжений в кровле и почве очистной выработки происходит по регулярному закону вдоль и поперек оси движения очистного забоя;

– высота пресекаемых пород влияет на изменение состояния непосредственной кровли очистной выработки при реализации бутовых полос и сплошной закладке, причем по различным законам;

– распределение вертикальных напряжений вдоль плоскости очистного забоя в нетронутом породном массиве при закладке бутовыми полосами более равномерно, чем при сплошной закладке и при этом в абсолютных значениях на 12 – 16 % меньше.

Результаты выполненных исследований. В качестве области анализа примем пересечение плоскости (груди) очистного забоя с его срединным вертикальным сечением. Рассмотрим отдельно и в сравнении максимальные сжимающие (рис. 3) и растягивающие (рис. 4) напряжения, возникающие в отдельных породных слоях.

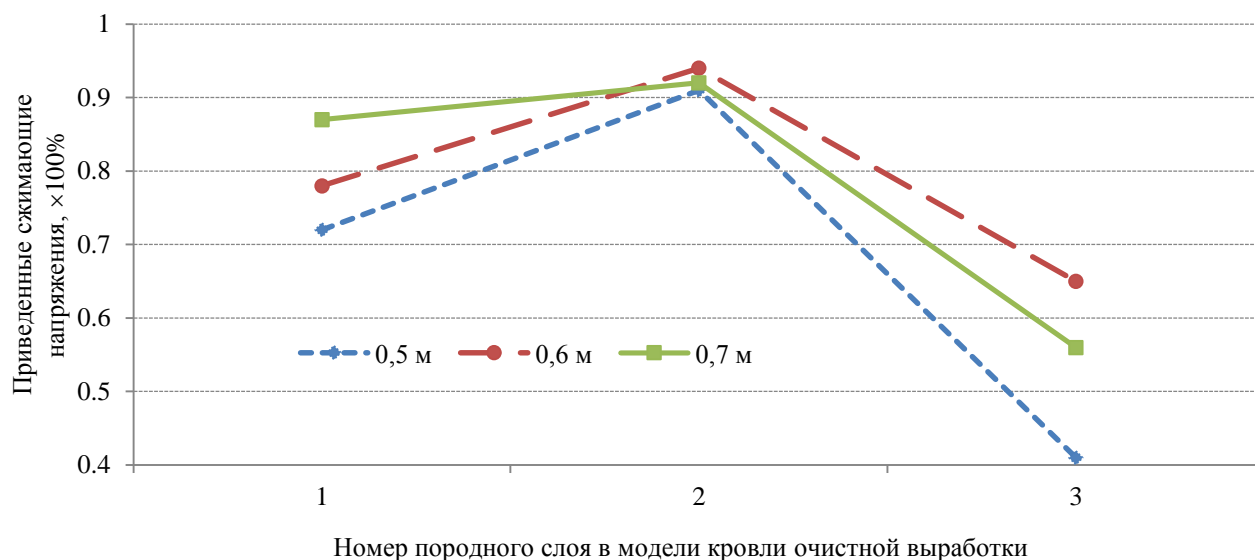


Рис. 3. Изменение приведенных максимальных сжимающих горизонтальных напряжений по породным слоям на плоскости очистного забоя в средней части очистной выработки при сплошной закладке с различной высотой пресекаемых пород

Качественно, представленные на рис. 3 графики, отличаются не значительно. Максимальные напряжения для всех вариантов расчетов испытывает второй породный слой, а первый и третий воспринимают напряжения с большим разбросом, но в различной степени. Эта особенность графиков указывает на влияние деформационных характеристик пород на распределение напряжений в породном массиве. Что косвенно указывает на адекватность проводимых расчетов.

Однако существует особенность в распределении горизонтальных напряжений при высоте пресекаемых пород 0, 6 м и 0,7 м. Если значения напряжений в первом породном слое растет последовательно, то во втором и третьем значения максимальных напряжений при высоте пресекаемых пород 0,7 м меньше, чем

для варианта 0,6 м. Это указывает на изменение условий равновесного состояния модели кровли очистной выработки. Такое изменение значений максимальных напряжений сопровождается частичным переходом породных слоев в предельное состояние, что приводит к разупрочнению непосредственной кровли очистного забоя под воздействием сжимающих горизонтальных напряжений.

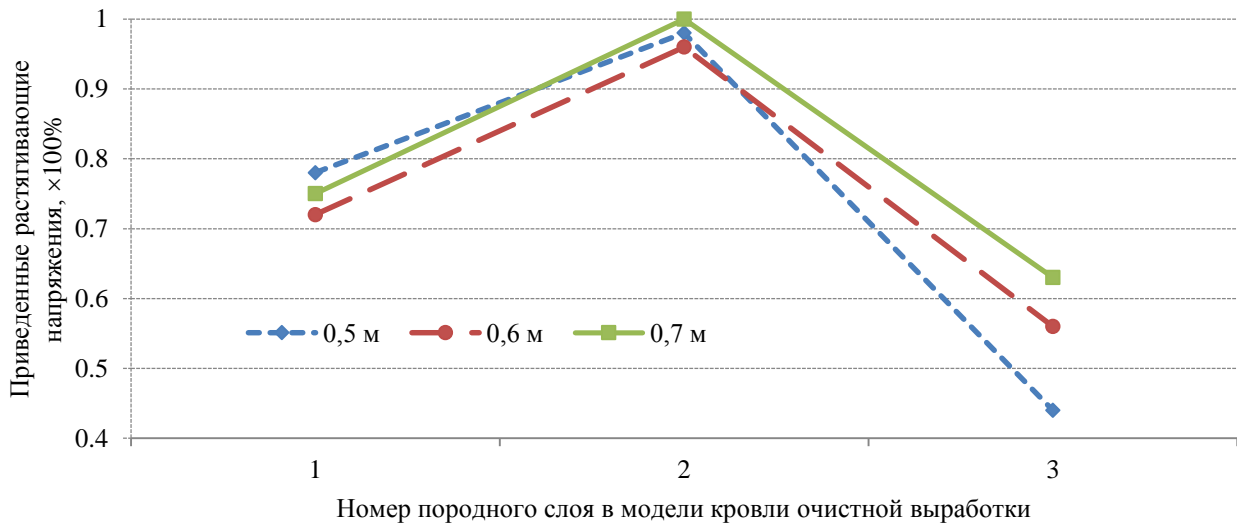


Рис. 4. Изменение приведенных максимальных растягивающих горизонтальных напряжений по вертикали на плоскости очистного забоя в средней части очистной выработки при сплошной закладке с различной высотой пресекаемых пород

При анализе графиков растягивающих напряжений (см. рис. 4) наблюдается картина обратная графикам сжимающих напряжений. Изменение максимальных напряжений по породным слоям непосредственной кровли при высоте 0,5 м заметно отличается от вариантов высоты пресекаемых пород 0,6 м и 0,7 м, первый породный слой нагружен больше, а третий значительно меньше. В целом вариант расчета при высоте 0,6 м демонстрирует показатели предельного эффективного состояния обеспечения устойчивости непосредственной кровли очистной выработки при сплошной закладке. При этом сжимающие напряжения оказывают большее, чем растягивающие, влияние на устойчивое состояние непосредственной кровли выработки.

Работа выполнена в рамках научной тематики ГП-497 (0117U006753) «Ресурсосберегающая геотехнологические и гидродинамическая параметризация добычи маломощных запасов минерального сырья в техногенно-нагруженной среде», которая финансируется за счет государственного бюджета Украины.

Публікація містить результати досліджень, проведених за грантом Президента України за конкурсним проектом Ф-82 (№ держреєстрації 0119U103542) «Ресурсозберігаюча параметризація безвідходної технології закладання виробленого простору вугільних шахт».

Выводы.

1) Концентрация горизонтальных напряжений ориентированных вдоль плоскости очистного забоя над механизированной крепью в кровле очистной выработки является основным фактором, влияющим на режим развития магистральных трещин в кровле выработки при закладке выработанного пространства;

2) Использование полной закладки очистной выработки приводит к повышенной концентрации напряжений в непосредственной кровле, что указывает на предпочтительное ее использование при высоких прочностных показателях вмещающего породного массива при высотах пресекаемых пород менее 0,6;

3) Высота пресекаемых пород при селективной выемке угля определяет оптимальные параметры деформирования кровли очистной выработки независимо от структуры мелкослоистого породного массива при выбранной технологической схеме закладки выработанного пространства.

Перечень ссылок

1. Fomychov, V., Pochevov, V., Fomychova, L., & Lapko V., (2017) Computational model for evaluating the state of geomechanical systems during computing experiments. *Mining of Mineral Deposits*. Vol. 11 (1), 100-105.
doi:10.15407/mining11.01.100
2. Sotskov, V., Russkikh, V., & Astafiev, D. (2015) Research of drainage drift during overworking of adjacent coal seam C5 under conditions of "Samarska" mine. *New Developments in Mining Engineering 2015: Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources Mining*, 221-226.
doi:10.1201/b19901-39
3. Fomichov, V., Sotskov, V., & Malykhin, A. (2014) Determination and analysis of the acceptable benchmark changes of the stress strain state of frame and bolt fastening elements of dismantling drift when approaching a working face. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu* (1), 22-26.
4. Fomichov V., Sotskov V., Pochevov V. & Mamaikin O. (2018). Formation of a calculation model determining optimal rate of stoping face movement with a large deformation of a rock massif. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 13(7), 2381-2389.
5. Sotskov, V., & Gusev, O. (2014). Features of using numerical experiment to analyze the stability of development workings. *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*, 401-404.
doi:10.1201/b17547-68
6. Cheberiyachko, S., Cheberiyachko, Yu., Sotskov, V., & Tytov O. (2018). Analysis of the factors influencing the level of professional health and the biological age of miners during underground mining of coal seams. *Mining of Mineral Deposits*, 3 (12), 87-96.
doi:10.15407/mining12.03.087
7. Sotskov V., Podvyhina O., Dereviachina N. & Malashkevych D. (2018). Substantiating the criteria for applying selective excavation of coal deposits in the Western Donbass. *Dniprop. Univer. bulletin, Geology, geography*. 26(1), 158-164.
8. Fomychov V. & Sotskov V. (2018). Determination of parameters of non-uniform fractured rock massif in computing experiment. *Dniprop. Univer. bulletin, Geology, geography.*, 26(1), 26-32.
doi:10.15421/111803
9. Bondarenko V., Kovalevska I., Symanovych G., Sotskov V. & Barabash M. (2018). Geomechanics of interference between the operation modes of mine working support elements at their loading. *Mining Science*. Vol. 25, 219-235.

10. Mamaikin O., Demchenko Yu., Sotskov V. & Prykhorchuk O. (2018). Productive flows control in coal mines under the condition of diversification of production. *Ukrainian School of Mining Engineering*, Vol. 60
doi:10.1051/e3sconf/20186000008
11. Inkin O., Tishkov V., Dereviahina N. & Sotskov V. (2018). Integrated analysis of geofiltrational parameters in the context of underground coal gasification relying upon calculations and modeling. *Ukrainian School of Mining Engineering*, Vol. 60.
doi:10.1051/e3sconf/20186000035
12. Mukha, O., Cheberiachko, Yu., Sotskov, V. & Kamulin, A. (2019). Studying aerodynamic resistance of a stope involving CAD packages modeling. *Ukrainian School of Mining Engineering*, Vol. 123.
doi:10.1051/e3sconf/201912301048

АНОТАЦІЯ

Мета. Метою виконаного обчислювального експерименту є визначення факторів впливу механічних і геометричних параметрів бутових смуг, що споруджуються з присіканням порід при селективній виїмки вугілля на стан геомеханічної системи сполучення виїмкової і очисної виїмки. Отримані закономірності забезпечують оптимальний вибір технологічного рішення застосування часткової закладки при різних гірничо-геологічних умовах у дрібношаруватому породному масиві.

Методика. Обчислювальний експеримент проведено з використанням методу скінченних елементів при моделюванні тривимірної розрахункової області геомеханічної системи. Породний масив представлено дванадцятьма шарами порід і вугільним пластом. При проведенні розрахунку сусідні породні шари вільно переміщуються відносно один одного. Розрахунок напружень та деформацій виконаний в повномірному блоці $300 \times 160 \times 50$ м, який включає в себе незайманий масив, очисну і дві підготовчі виробки. Моделювання механічних характеристик бутових смуг виконано за допомогою додаткових аналітичних розрахунків. Остаточні висновки ґрунтуються на аналізі змін величини деформацій породних шарів безпосередньої покрівлі очисної виробки.

Результати. Виконані розрахунки стану геомеханічної системи сполучень очисної і виїмкових виробок дозволили визначити характерні зони порушеного породного масиву, які визначають механізм розвитку обвалення покрівлі очисної виробки з урахуванням впливу параметрів закладки. Аналіз напружено-деформованого стану геомеханічної системи в покрівлі очисної виробки за обраними поперечним перетинами дозволив визначити умови взаємодії породних шарів в результаті якого відбувається опускання покрівлі на бутові смуги.

Наукова новизна. Використання для визначення оптимальних параметрів закладки виробленого простору аналізу поздовжніх горизонтальних напружень дозволяє однозначно визначити тип і геометричні параметри схеми охорони виробленого простору очисної виробки при різних характеристиках міцності і геометричних параметрах порушеного породного масиву. Виявлені закономірності взаємодії покрівлі очисної виробки і елементів закладки визначають оптимальні умови управління покрівлею очисної виробки при селективній виїмці вугілля.

Практична значимість. Отримані закономірності зміни напружено-деформованого стану геомеханічної системи очисної виробки при різних умовах часткової закладки виробленого простору дозволили визначити механізм вибору швидкості посування очисного вибою, типу і геометричних параметрів бутових смуг, що споруджуються. Це дозволяє забезпечити мінімізацію витрат на внутрішню логістику видобувної дільниці, знизити собівартість очисних робіт і

підвищити безпеку гірників очисного забою. Розроблена методика дозволяє на етапі проектування вибирати оптимальні умови функціонування очисного забою без проведення додаткових геологічних вишукувань.

Ключові слова: *породний масив, очисна виробка, напружено-деформований стан, секція криплення, часткова закладка, бутова смуга.*

ABSTRACT

Goal. The purpose of the performed computational experiment is to determine the factors influencing the mechanical and geometric parameters of rubble strips erected from suppressed rocks during selective extraction of coal on the state of the geomechanical interface system of the extraction and treatment excavations. The obtained laws provide the optimal choice of technological solutions for the use of partial bookmarks under various mining and geological conditions in a shallow rock massif.

Methodology. A computational experiment was carried out using the finite element method in modeling a three-dimensional computational domain of a geomechanical system. The rock mass is represented by twelve layers of rocks and a coal seam. During the calculation, neighboring rock layers freely move relative to each other. Stresses and strains were calculated in a full-sized block $300 \times 160 \times 50$ m, which includes an untouched massif, a treatment plant and two preparatory workings. The modeling of the mechanical characteristics of rubble strips was carried out using additional analytical calculations. The final conclusions are based on the analysis of changes in the magnitude of deformations of the rock layers of the immediate roof of the mine.

Results. The calculations performed on the state of the geomechanical system of mates between treatment and excavation workings made it possible to determine the characteristic zones of the disturbed rock mass, which determine the development mechanism of the roof collapse of the treatment mine taking into account the influence of the bookmark parameters. The analysis of the stress-strain state of the geomechanical system in the roof of the mine by the selected cross sections made it possible to determine the conditions for the interaction of rock layers as a result of which the roof is lowered to rubble strips.

Scientific novelty. Using the analysis of longitudinal horizontal stresses to determine the optimal parameters for laying the worked-out space allows us to unambiguously determine the type and geometric parameters of the protection scheme for the worked-out working space of a working mine for various strength and geometric parameters of the disturbed rock mass.

Practical significance. The obtained regularities of changes in the stress-strain state of the geomechanical system of the mine working under various conditions of partial laying of the mined-out space made it possible to determine the mechanism for choosing the speed of movement of the face, the type and geometric parameters of the erected rubble strips. This allows you to minimize the cost of internal logistics of the production site, reduce the cost of treatment and improve the safety of miners of the working face. The developed technique allows at the design stage to choose the optimal operating conditions for the working face without additional geological surveys.

Key words: *rock massif, treatment mine, stress-strain state, lining section, partial laying, rubble strip.*