

А.В. Смирнов**НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРОДНОГО МАССИВА В ОКРЕСТНОСТИ ВЫРАБОТКИ С КОМБИНИРОВАННОЙ КРЕПЬЮ**

Предложена геомеханическая модель развития деформаций в окрестности выработок шахт Западного Донбасса. Решена численная задача определения параметров комбинированной крепи типа АСН+А и технологии ее возведения. Установлены закономерности влияния последовательности формирования элементов крепи на величину поднятия пород почвы и состояние выработки. Выполнена промышленная проверка комбинированной крепи в сложных условиях эксплуатации и получен значительный экономический эффект.

Ключевые слова: напряженно деформированное состояние, капитальная выработка, численная модель, комбинированная крепь, устойчивость выработки.

Угледобывающий регион Западного Донбасса характеризуется очень сложными условиями разработки. Это обусловлено наличием слабометаморфизованных вмещающих глинистых пород, резкой потерей их прочности при увлажнении, тонкослоистой текстурой массива пород, слабым контактом между слоями, развитостью субвертикальной трещиноватости, интенсивным пучением пород почвы. Именно поэтому уже на глубинах 200...300 м имеют место тяжелые формы проявлений горного давления, интенсивные смещения пород почвы, кровли и боков выработки, значительные деформации и разрушения постоянных крепей, вывалы пород, что и является основными причинами неудовлетворительного состояния выработок.

В результате анализа многочисленных измерений, выполненных на шахтах Западного Донбасса, М.А. Выгодиным [1] был раскрыт механизм деформирования массива пород в окрестности протяженных выработок, расположенных вне зоны влияния очистных работ, который заключается в образовании трех зон разрушенных пород, разделенных зияющими трещинами (рис. 1).

Толщина слоев, начиная от внешнего по отношению к выработке контура, составляет, в среднем, 25, 50 и 75 см соответственно. При этом смещения первого слоя достигают до 0,5 м, второго – до 0,2 м, третьего – до 0,05 м. Ширина трещин между слоями соответственно равна 0,1 м,

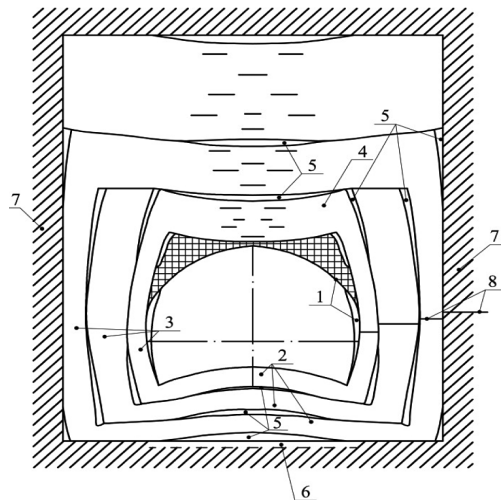


Рис. 1. Схема образования зон разрушения приконтурного массива: 1 – металлическая крепь; 2, 3, 4 – породы почвы, боков и кровли; 5 – пустоты и трещины; 6 – вода; 7 – ненарушенный массив пород; 8 – маркирующий пласт

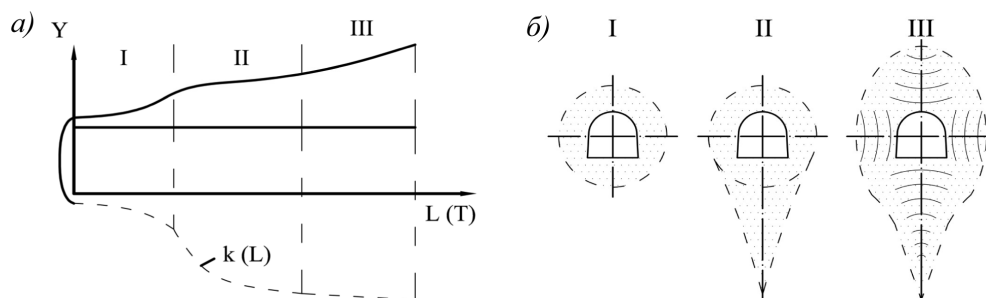


Рис. 2. Развитие геомеханических процессов по мере перемещения забоя выработки: продольный (а) и поперечный (б) разрезы

0,05 м, и 0,01 м в кровле выработки и, примерно, вдвое меньше в почве.

Со стороны почвы развивается пучение пород. При этом активная зона имеет глубину около полупролета выработки. В кровле и боках постепенно формируется зона разрушенных пород, создающих нагрузку на крепь.

В условиях шахт Западного Донбасса этот процесс реализуется на расстоянии 30...50 м от забоя выработки и может быть описан функцией влияния забоя выработки $k(L)$ (рис. 2) Ее значения изменяются от некоторой минимальной величины непосредственно у плоскости забоя $k(L)_{\min} \approx 0,1...0,2$ до $k(L) = 1$ на расстоянии 30...50 м. Эта функция как-бы снижает гравитационные силы $-\gamma H$ в пределах влияния забоя, по мере уменьшения которых происходит из-

менение геомеханического состояния массива с образованием трех характерных зон.

В пределах зоны I образуется замкнутая зона неупругих деформаций (ЗНД). В пределах зоны II реализуется вспучивание пород почвы. В пределах зоны III продолжается деструкция вмещающих пород, сопровождающаяся развитием трещин в боках и кровле выработки, что приводит к росту свода естественного равновесия, в пределах которого формируется нагрузка на крепь.

В условиях шахт Западного Донбасса одной из эффективных мер повышения устойчивости выработок с пучащей почвой является вовремя выполненные работы по упрочнению приконтурного массива. Для этого используется металлическая сетчатая затяжка и два слоя

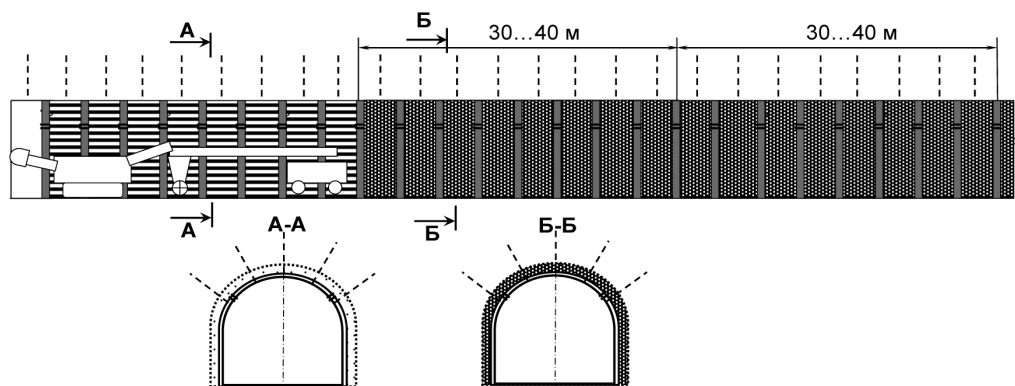


Рис. 3. Технологические схемы возведения крепи АСН+А

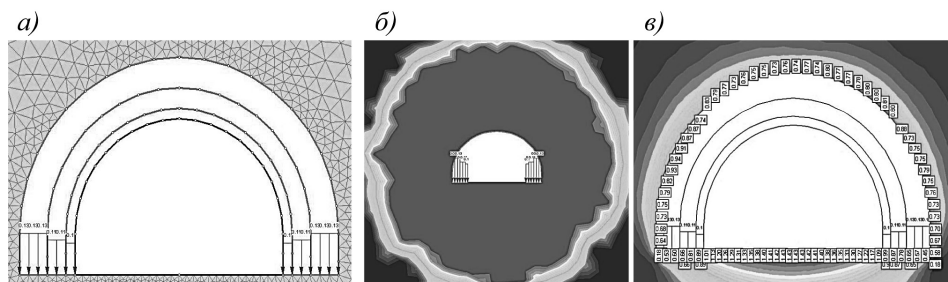


Рис. 4. Расчетная схема (а), зона неупругих деформаций (б) и перемещения на контуре (в) выработки для IV стадии моделирования

набрызгбетона. Первый высокопластичный слой, проникающий сквозь металлическую сетку в образовавшиеся трещины породного массива, наносится с небольшим отставанием от забоя. Второй слой – несущий, жесткий, наносят с большим отставанием и большей толщиной. Непосредственно в забое в сводчатой части выработки устанавливаются анкера для снижения вертикальных перемещений. Такая крепь получила название АСН+А (арка+сетка+набрызгбетон+анкера) (рис. 3).

На основе предложенной выше модели развития трещин в окрестности одиночной выработки поставлена и решена численная задача об оценке напряженно-деформированного состояния по мере развития деформационных процессов в связи с перемещением забоя. В качестве вычис-

лительного инструмента использован программный продукт Phase 2 канадской компании Rockscience [2].

Методика численного моделирования предусматривает пять этапов при условии, что итог промежуточных вычислений на каждом этапе должен быть адекватен натурным измерениям и соответствовать предложенной выше деформационной модели, приведенной на рис. 2.

Общая расчетная схема к решению первых четырех этапов задачи показана на рис. 4, а. Здесь же приведены полученные в результате моделирования конфигурация ЗНД и вертикальные перемещения контура выработки.

Пятый этап моделирования, где установлена набрызг-бетонная крепь и анкера, показан на рис. 5.

Количество анкеров изменялось от трех до девяти. Прочность не раз-

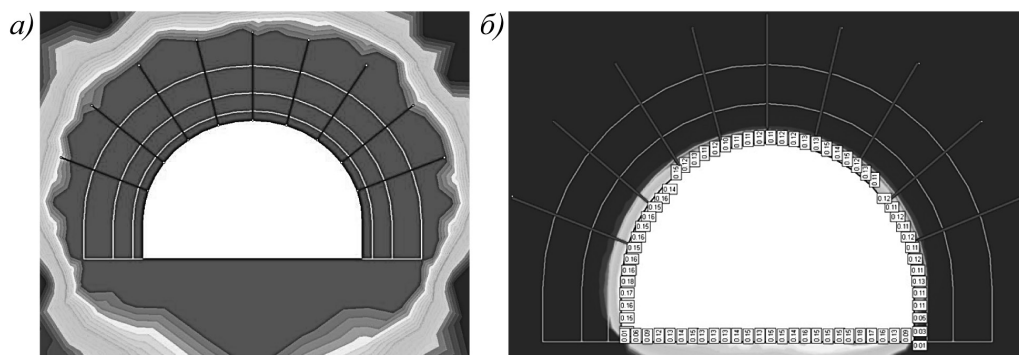


Рис. 5. Зона неупругих деформаций (а) и перемещения на контуре выработки (б) при установке анкеров и нанесении набрызгбетонного покрытия

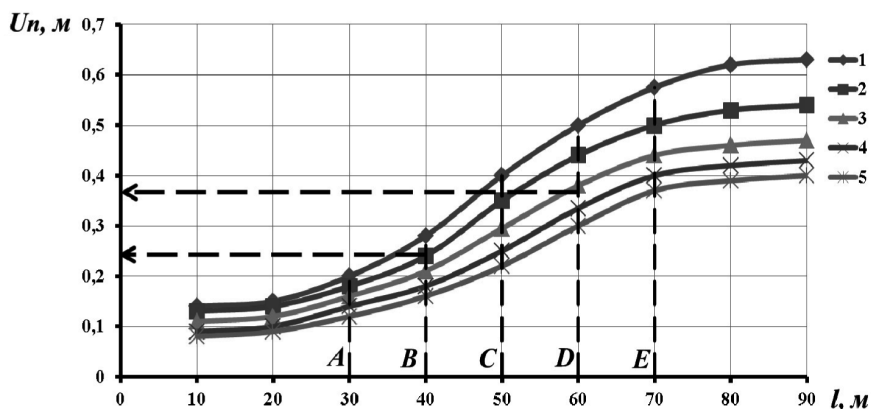


Рис. 6. Зависимость смещений пород почвы от расстояния между местом выполнения набрызгбетонных работ и забоем выработки: 1 – без анкеров; 2, 3, 4, 5 – соответственно 3, 5, 7 и 9 анкеров

битого трещинами приконтурного породного массива увеличена на 60%.

Анализ результатов моделирования показал, что в этом случае существенно (в 1,5...2 раза) уменьшается размер ЗНД и величина перемещений на контуре выработки. Это свидетельствует о повышении устойчивости выработки и, соответственно, о снижении в будущем эксплуатационных затрат на ее поддержание.

На рис. 6 приведены зависимости, показывающие как влияет число анкеров – N и расстояние от забоя выработки – l на величину перемещений

пород почвы – U_n . Из них следует, что при 5 установленных в кровлю анкерах работы по нанесению набрызгбетонного покрытия можно выполнять на расстоянии 60 м от забоя выработки, по сравнению с 30 м при отсутствии анкеров. Это не только снижает скорость пучения пород почвы и его величину до 0,3...0,4 м, но и позволяет существенно разнести работы по проходке в забое выработки и набрызгбетонированию.

На рис. 7 показан уточненный по результатам последних исследований график зависимости показателя устойчи-

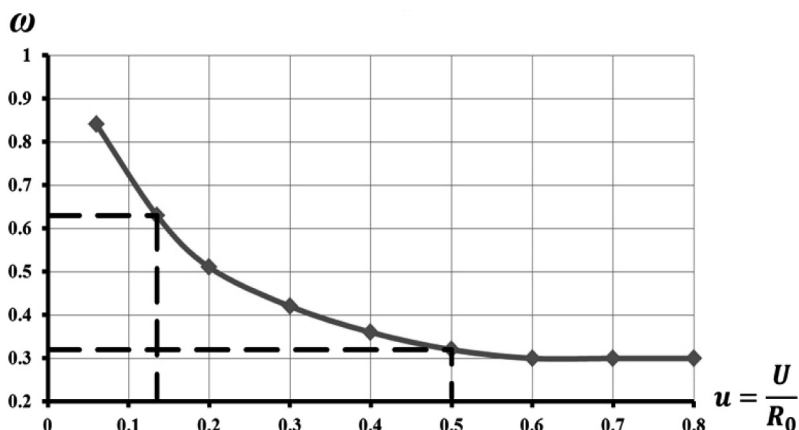


Рис. 7. Зависимость показателя устойчивости выработки ω от максимальной величины смещений контура

чивости выработки [3] от относительной величины поднятия пород почвы – U :

$$\omega = \frac{L - L_{\text{сут}}}{L},$$

где L – общая длина выработки; $L_{\text{сут}}$ – суммарная длина участков выработок, не требующих ремонта.

Из него следует, что в результате установки 5 анкеров в кровлю и своевременного выполнения работ по упрочнению приконтурного массива величина смещений пород почвы уменьшились на 0,70 м, а устойчивость выработки ω повысилась на 0,31. Выполненные впоследствии натурные измерения подтвердили адекватность рассмотренных выше геомеханических моделей.

Экспериментальные работы, выполненные во 2-м западном магистральном штреке шахты имени Героев Космоса показали, что поэтапное изменение элементов поддерживающей крепи в сторону уменьшения веса спецпрофиля от СВП-27 до СВП-22, увеличения расстояния между рамами от 0,3 до 1,0 м, замены железобетонной затяжки на сетчатую, а тампонажа закрепного пространства на набрызгбетонное покрытие в сочетании с пятью сталеполимерными анкерами, установленными в забое выработки, позволяет практически вдвое уменьшить металлоемкость крепи и повысить устойчивость выработки в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Выгодин М.А., Евтушенко В.В. Методы повышения устойчивости горных выработок на шахтах Западного Донбасса // Шахтное строительство. – 1989. – № 5. – С. 11–14.

2. Phase2. Finite Element Analysis for Excavations and Slopes. version 8.0 // Ре-

жим доступа: <https://www.rocsience.com/products/3/Phase2>.

3. Шашенко А.Н., Солодянкин А.В., Мартовицкий А.В. Управление устойчивостью протяженных выработок глубоких шахт. – Днепропетровск: ЛизуновПрес, 2012. – 384 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Смирнов Андрей Викторович – кандидат политических наук, горный инженер, директор по добыче угля ООО «ДТЭК Энерго», e-mail: smirnovav@dtok.com.

UDC 622.833:622.26

STRESS-STRAIN STATE OF ROCK MASS IN THE VICINITY OF WORKING WITH COM-BINED SUPPORT

Smirnov A.V., Candidate of Political Science, Mining Engineer, Director for Coal Mining LLC «DTEK Energo», e-mail: smirnovav@dtok.com.

Geomechanical model of deformations' development in the vicinity of extended workings of mines of Western Donbass is proposed. It is solved the numerical problem of determining the parameters of the combined support ACH+A and technology its construction. The regularities of the influence of the sequence of formation of elements on the height of rock heaving and state of workings are determined. Industrial testing combined support in difficult conditions is performed and significant economic effect is obtained.

Key words: stress-strain state, capital working, numerical model, combined support, stability of working.

REFERENCES

1. Vygodin M.A., Evtushenko V.V. *Shakhtnoe stroitel'stvo*. 1989, no 5, pp. 11–14.

2. Phase2. Finite Element Analysis for Excavations and Slopes. version 8.0, available at: <https://www.rocsience.com/products/3/Phase2>.

3. Shashenko A.N., Solodyankin A.V., Martovitskii A.V. *Upravlenie ustoichivost'yu protyazhennykh vyrobotok glubokikh shakht* (Stability control in long mine workings in deep mines), Dnepropetrovsk, LizunovPres, 2012, 384 p.