

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ АНКЕРОВАНИЯ УЧАСТКА СОПРЯЖЕНИЯ «ЛАВА – ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ВЫРАБОТКА» НА ЕГО УСТОЙЧИВОСТЬ

С.Н. Ганеев, А.О. Лозунова, В.Р. Терещук,

Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Украина

Рассмотрено моделирование геомеханической системы «выработка-массив-охранная конструкция» для условий поддержания нижнего сопряжения 18-й северной лавы пл. l_1 . ОП «Шахта 1/3 «Новгородовская» ГП «Селидовуголь» постадийным методом. Выполнено численное моделирование с целью установления влияния различных вариантов установки анкерov на НДС геомеханической системы «крепь-выработка-массив». Обоснованы параметры анкерных систем, рациональные в конкретных горно-геологических условиях.

Введение. Развитие угольной промышленности возможно только при нормальной эксплуатации горного предприятия и увеличения конкурентоспособности угольной продукции за счет повышения ее качества и снижения себестоимости. В свою очередь, в себестоимости добываемого угля одной из весомых частей является статья затрат на поддержание и ремонт выработок. В этом смысле особую актуальность в настоящее время приобрела проблема обеспечения устойчивости выработок, от состояния которых зависит бесперебойная работа шахт.

При поддержании подготовительных выработок в основном (92-98 %) применяется арочная податливая крепь из спецпрофилей СВП-27 и СВП-33 с различным сечением и плотностью установки, масса которой на одном метре достигает 600-1000 кг (1-2 рамы на погонный метр), а средний показатель по Донбассу составляет 650 кг высококачественного металлического профиля.

Серьезную проблему создает пучение пород в почве выработок, интенсивность которого увеличивается с ростом глубины разработки. Так, на сегодняшний день ухудшение состояния выработок из-за процесса пучения составляют 45 % от общего объема деформированных выработок [1].

Пучение может привести не только к уменьшению сечения, повреждению крепи и рельсовых путей, нарушению работы конвейеров, ухудшению вентиляции и безопасности работ, но и к полному выводу из строя выработки. Значительные деформации почвы интенсифицируют сдвиги боковых пород, иногда вызывают вывалообразование в кровле выработок.

Принимая во внимание то, что уровень механизации работ по подрывке составляет незначительную величину (6,3 %), а перекрепление выработок проводится вручную и представляет, к тому же, высокую степень опасности для рабочих, очевидно, что вопросам проектирования безремонтного поддержания выработок, предотвращения пучения пород почвы должно уделяться повышенное внимание, особенно в сложных горно-геологических условиях.

Опыт применения профилей большого типоразмера и увеличения плотности установки металлорамной крепи показывает, что при значительном увеличении металлоемкости выработок и, соответственно, трудоемкости возведения рамной крепи общий эффект получается незначительным. Практика ее эксплуатации выявила ряд серьезных недостатков, которые приводят к значительным деформациям выработок: выполаживанию верхняков, выходу из строя замковых соединений, а также незначительной реализации податливости крепи. Таким образом, конструктивная модернизация самой крепи и технологии ее установки не может обеспечить существенное повышение устойчивости выработок, снизить затраты на их поддержание [2].

Согласно [3], устойчивость выработки в момент времени определяется показателем устойчивости ω , который численно равен:

$$\omega = \frac{\bar{S}}{S}, \quad (2)$$

где S - общая длина, \bar{S} - длина ненарушенных участков.

Изменение показателя устойчивости выработки ω может быть представлено в зависимости от изменения смещений контура (рис. 1).

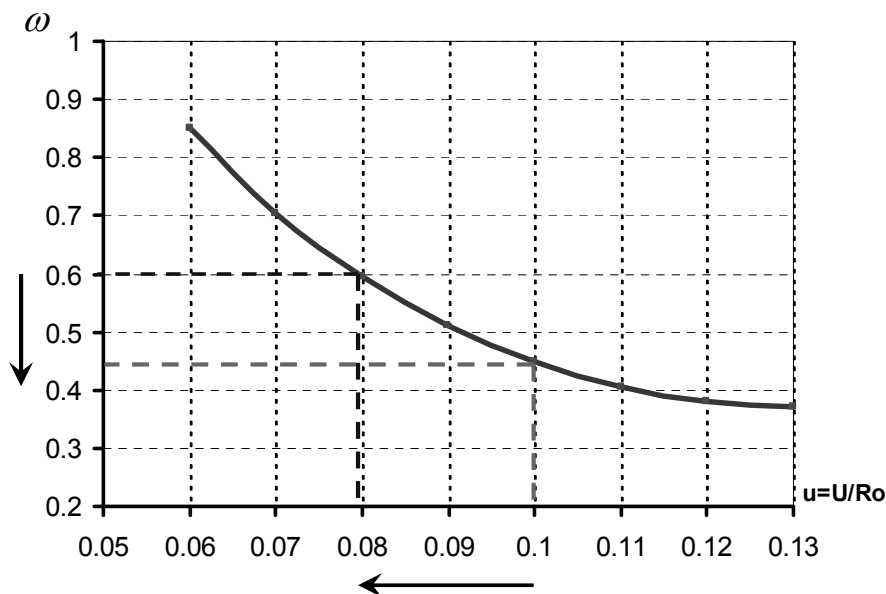


Рис. 1. Зависимость показателя устойчивости как функция смещений контура выработки, после стабилизации геомеханических процессов [3]

Смещения контура выработки определяют эксплуатационное состояние крепи и выработки в целом. Большие смещения породного контура приведут к существенному снижению устойчивости выработки и увеличению затрат на ремонт и поддержание. Поэтому повышение устойчивости выработок должно быть основано, главным образом, на применении способов и средств, направленных на снижение расслоений приконтурного массива, одним из которых является применение анкерных систем.

Анкерная крепь, в отличие от крепи поддерживающего типа, сразу же после установки обеспечивает связывание и упрочнение массива горных пород в кровле и боках выработки и активно противодействует развитию смещений. Одним из видов реализации анкерной крепи является схема поэтапного анкерования с использованием двух уровней установки анкеров по глубине приконтурного массива.

Сущность поэтапного крепления выработок анкерной крепью заключается в разделении процесса крепления кровли во времени и пространстве на два или несколько этапов, то есть в забое устанавливают минимально необходимую часть крепи для обеспечения устойчивости, с последующим доведением ее до паспортной, на некотором расстоянии от забоя [2].

Актуальной является задача обоснования параметров двухуровневой анкерной системы и порядка поэтапного анкерования применительно к заданным горно-геологическим условиям, решение которой удобно получать на численных моделях.

Целью статьи является представление результатов оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) геомеханической системы «подготовительная выработка - крепь - охранная конструкция» при различных вариантах крепи для условий нижнегосопряжения 18 сев. лавы пласта I₁ ш. «1/3 Новогородовская» ГП «Селидовуголь».

Для отработки параметров средств крепления и охраны штрека, основанных на применении анкерных систем в комбинации с традиционной рамной стальной крепью, были использованы численные модели рассматриваемой геомеханической системы. На численных моделях рассмотрено несколько вариантов реализации крепи и средств охраны штрека в районе

сопряжения с лавой. При этом отрабатывался вариант двухуровневой анкерной системы: стандартные сталеполлимерные анкеры, установленные непосредственно в призабойной части штрека при его проходе, составляли первый уровень системы, а дополнительное анкерование на основе канатных анкеров, устанавливаемое при приближении лавы к рассматриваемому участку выработки – второй уровень. При этом также устанавливается стандартная стальная крепь. Для повышения устойчивости пород кровли сопряжений применяют анкерную крепь с полимерными химическими ампулами КА и ПА.

Моделирование геомеханических процессов, протекающих в окрестности выработки на различных стадиях ведения горных работ используется программный комплекс “Phase-2” канадской лаборатории геомеханики *Rocscience*. Программа реализует метод конечных элементов (МКЭ). Возможности программы позволяют учитывать в расчете упругопластические свойства вмещающих пород, что, помимо прочего, позволяет моделировать постадийное раскрытие выработок в неупругой среде. Учитывая на каждой последующей стадии в качестве начальных те деформации, которые реализованы на предыдущей стадии формирования напряженно-деформированного состояния (НДС), моделируется развитие НДС приконтурного массива во времени, начиная с момента деформирования полости (выработки) [6, 7].

Моделируется арочное сечение выработки в упруго-пластической постановке задачи. Для условий поставленной задачи начальное поле напряжений, создаваемое весом вышележащих пород для заданной глубины, составляет: $\sigma_y = \gamma H$. Здесь $\gamma = 19,5 \text{ кН/м}^3$ – объемный вес пород, H – глубина разработки, принятая равной 780 м.

Конечноэлементная аппроксимация области осуществлялась посредством трёхузловых треугольных конечных элементов-треугольников.

Граничные условия задаются в перемещениях: жестко закрепляется нижняя граница, то есть горизонтальные и вертикальные перемещения равны нулю.

Боковые вертикальные границы также закрепляются в горизонтальном направлении (горизонтальные перемещения равны нулю).

В качестве охранных сооружений на участке сопряжения на ОП «Шахта 1/3 Новогородовская» ГП «Селидовуголь» используются деревянные костры, что в численной модели реализовано путем создания охранной конструкции соответствующего размера эквивалентной жесткости.

Схемы расположения анкеров в численных моделях представлены в табл. 1.

Физико-механические свойства моделируемых пород и угля, указаны в табл. 2.

Следует отметить, что в программе *Phase 2* предусмотрена модификация критерия Хоека-Брауна применительно к оценке двух видов разрушения в точке: в виде сдвига по плоскости скольжения и растяжения.

Для наиболее точного совпадения результатов моделирования с результатами измерений, полученных при натурных исследованиях данной выработки, была произведена калибровка численной модели.

Для решения поставленной задачи использовался постадийный метод, включающий – 27 стадий расчёта. На первой стадии выполнялось численное моделирование нетронутого массива, на пятой стадии выполнялось моделирование применения анкеров 1-го уровня, установленных в забое, на 6 стадии моделировалась установка рамной крепи, на 15 этапе выполнялась установка в модель анкеров 2-го уровня - канатного и спаренного анкера, установленных в кровлю выработки. Начиная с 20 этапа выполнялось моделирование выработки, раскрытой на полное сечение, а с 23 этапа учитывалось влияние очистных работ с учетом охранных конструкций в виде деревянных костров, а также верхняя крепь дополнительно усиливался с помощью двух стальных анкеров.

Таблица 1- Принципиальные схемы размещения анкерных систем на численных моделях

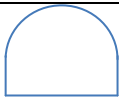



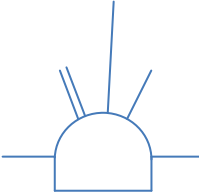
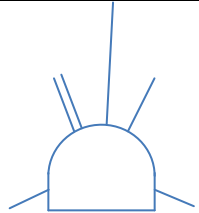
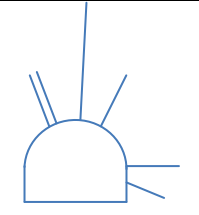
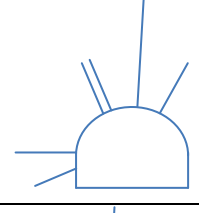
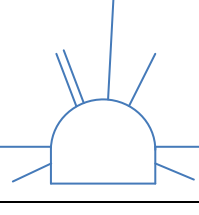
1		рамная крепь, установленная на 6 этапе
2		рамная крепь, установленная на 6 этапе; спаренный стальной анкер длиной 2,5 м, установленный на 15 этапе
3		рамная крепь, установленная на 6 этапе; канатный анкер длиной 6 м и спаренный стальной анкер длиной 2,5 м, установленные на 15 этапе
4		рамная крепь, установленная на 6 этапе; канатный анкер длиной 6 м и спаренный стальной анкер длиной 2,5 м, установленные на 15 этапе; стальные анкера из арматурного железа длиной 2,5 м, установленные на 23 этапе.
5		стальные анкера из арматурного железа длиной 2,5 м, установленные в бока выработки на 5 этапе; рамная крепь, установленная на 6 этапе; канатный анкер длиной 6 м и спаренный стальной анкер длиной 2,5 м, установленные на 15 этапе; стальные анкера из арматурного железа длиной 2,5 м, установленные на 23 этапе
6		стальные анкера из арматурного железа длиной 2,5 м, установленные в почву выработки на 5 этапе; рамная крепь, установленная на 6 этапе; канатный анкер длиной 6 м и спаренный стальной анкер длиной 2,5 м, установленные на 15 этапе; стальные анкера из арматурного железа длиной 2,5 м, установленные на 23 этапе.
7		стальные анкера из арматурного железа длиной 2,5 м, установленные в правый борт выработки на 5 этапе; рамная крепь, установленная на 6 этапе; канатный анкер длиной 6 м и спаренный стальной анкер длиной 2,5 м, установленные на 15 этапе; стальные анкера из арматурного железа длиной 2,5 м, установленные на 23 этапе.
8		стальные анкера из арматурного железа длиной 2,5 м, установленные в левый борт выработки на 5 этапе; рамная крепь, установленная на 6 этапе; канатный анкер длиной 6 м и спаренный стальной анкер длиной 2,5 м, установленные на 15 этапе; стальные анкера из арматурного железа длиной 2,5 м, установленные на 23 этапе.
9		стальные анкера из арматурного железа длиной 2,5 м, установленные в левый и правый борт выработки на 5 этапе; рамная крепь, установленная на 6 этапе; канатный анкер длиной 6 м и спаренный стальной анкер длиной 2,5 м, установленные на 15 этапе; стальные анкера из арматурного железа длиной 2,5 м, установленные на 23 этапе.

Таблица 2 - Физико-механические свойства вмещающих пород

№	Название характеристики	Уголь	Аргиллит	Алевролит	Песчаник
1	Модуль упругости (Юнга), МПа	3600	5900	6750	11500
2	Коэффициент Пуассона	0,16	0,23	0,23	0,21
3	Прочность на сжатие, МПа	17	20	30	50

Ниже, на рис.2, приведены конечно-элементные модели для задачи о перемещениях на контуре выработки.

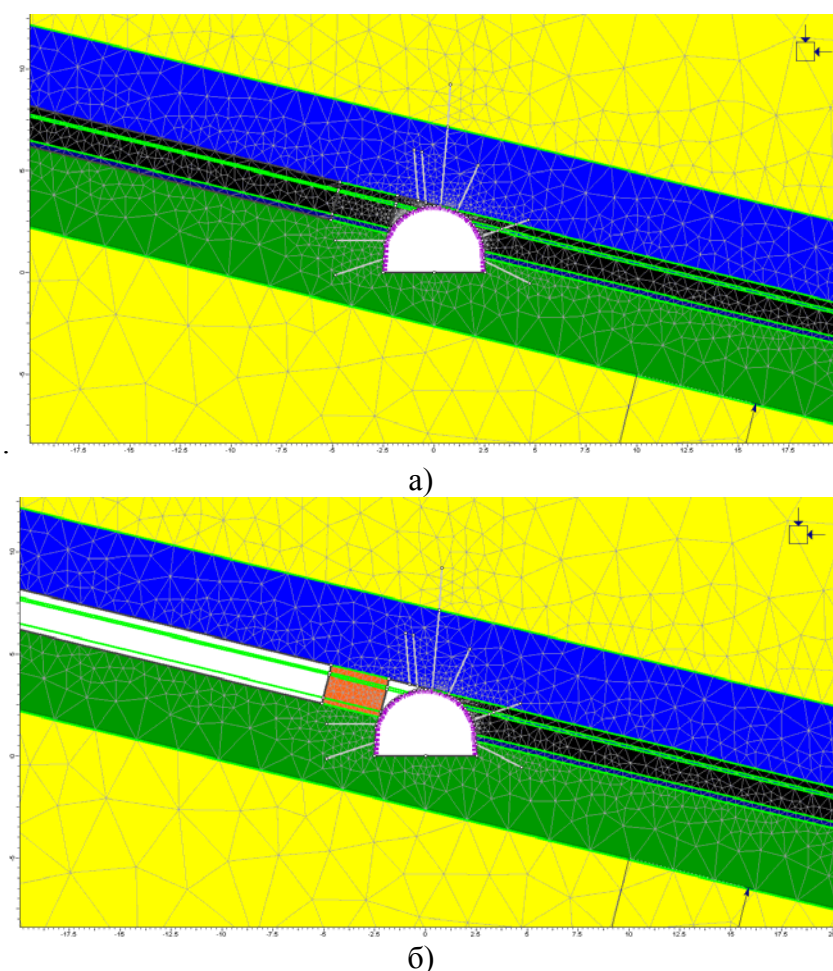


Рис. 2. Конечно-элементные модели для задачи о перемещениях на контуре выработки: а) для нетронутого массива до момента раскрытия выработки на полное сечение; б) для ситуации с учетом охранных конструкций и влияния лавы

На рис. 3 показана зависимость величины смещения на контуре выработки от количества установленных анкеров и схемы их расположения.

При анализе этого графика видно, что при подкреплении правого борта выработки, противоположного от окна лавы, без дополнительного подкрепления левого борта, возникает значительное деформирование контура выработки за счет пучения и вывалообразования со стороны лавы. Наилучшими вариантами крепления при анализе смещений, происходящих в почве и кровле выработки, являются варианты № 5,6, 8, 9, что показывает необходимость подкрепления бортов выработки со стороны окна лавы. Из анализ данного графика видно, что задачи можно разделить на две группы задач: №1-5 и №5-9. В случае же подкрепления

борта выработки только со стороны лавы противоположная сторона остается достаточно устойчивой.

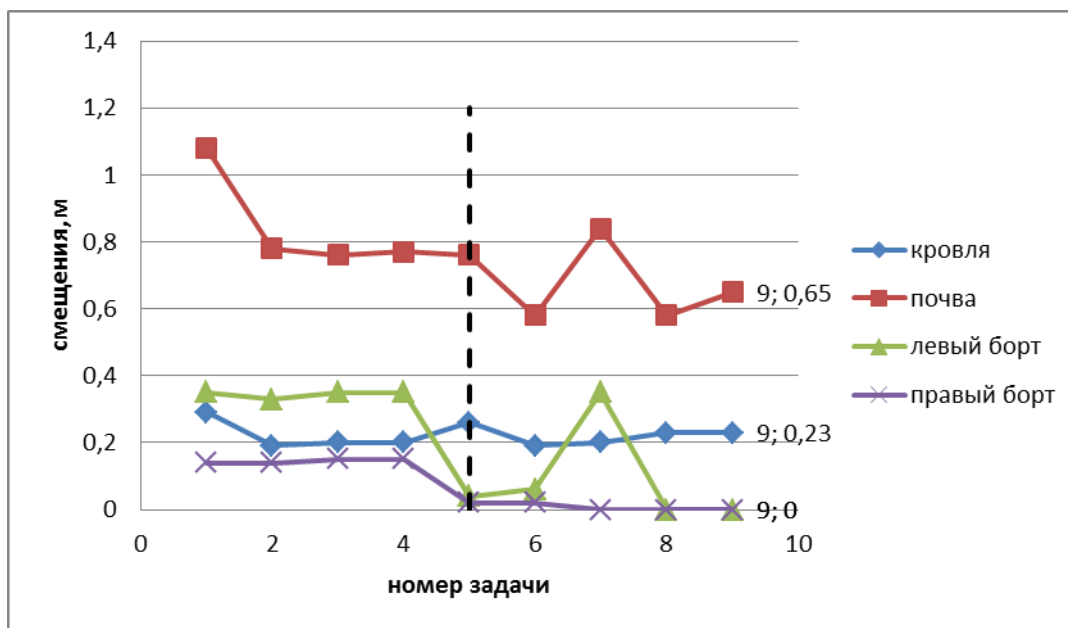


Рис.3. Зависимость величины смещения на контуре выработки от количества установленных анкеров и схемы их расположения.

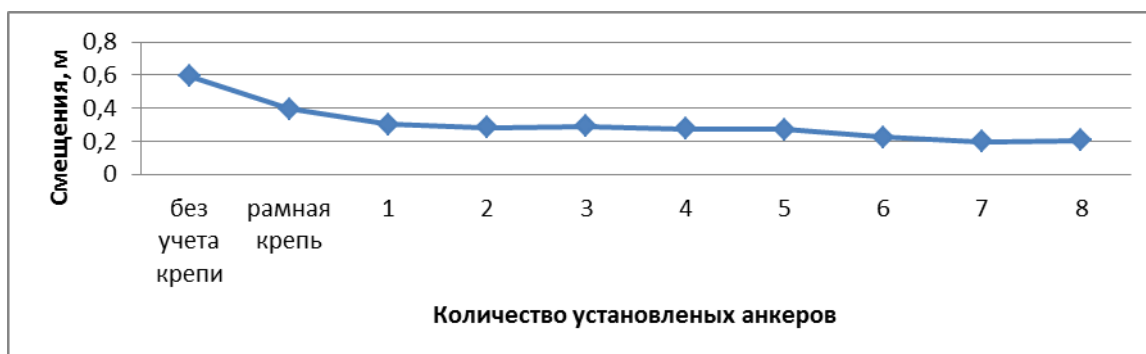


Рис.4. Зависимость величины смещения на контуре выработки от количества установленных анкеров для случая одиночной выработки.

Сравнив полученные результаты численного моделирования с результатами, полученными при моделировании геомеханической системы «крепь-выработка-массив» без учета влияния охранной конструкции и лавы и представленными на рис.4, можно сделать следующие выводы:

В случае моделирования геомеханической системы «крепь-выработка-массив» без учета влияния охранной конструкции и лавы, из результатов моделирования видно, что на устойчивость выработки в большой мере влияет количество установленных анкеров, в случае же учета влияния лавы и охранных конструкций заметно, что момент установки (анкера I или II уровня), а также местоположение анкеров влияет на устойчивость выработки в большей мере, чем их количество.

Выводы:

- а) установка анкеров II уровня (за 100 – 150 м до движущегося забоя лавы) существенно влияет на состояние выработки в зоне влияния очисных работ (ВОР), снижает смещения в кровле на 21% по сравнению только с рамным креплением (существующий вариант);
- б) наличие канатного анкера благоприятно сказывается на устойчивости

подготовительной выработки в зоне ВОР;

в) охранная конструкция в виде деревянных костров испытывает значительные нагрузки и деформации, что приводит к увеличению смещений в подготовительной выработке, что указывает на низкую эффективность этой охранной конструкции в рассмотренных условиях.

Полученные результаты являются предварительными. Дальнейшие исследования должны быть направлены на исследование охранной конструкции; параметров анкерования (I и II уровня), а также параметров рамной крепи. Только комплексная обработка параметров всей системы крепи и охраны подготовительной выработки способна дать ощутимый эффект в части повышения устойчивости рассматриваемой геомеханической системы и снижения металлоемкости крепи без потери ее эффективности.

Список использованной литературы

1. Тупиков Б.Т. Устойчивость пластовых выработок в массиве на больших глубинах / Б.Т. Тупиков, В.Ф. Компанец // Уголь Украины. – 1998. – № 6. – С. 28-32.
2. Халимендигов Е.Н., Янжула А.С., Халимендик А.В. Анализ состояния капитальных горных выработок в районе геологического нарушения типа «сброс» на примере «ШУ «Покровское». Матеріали міжнар. конф. «Форум гірників-2011». . – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2011. –С. 63-67.
3. Булат А.Ф., Виноградов В.В. Опорно – анкерное крепление горных выработок угольных шахт. – Днепропетровск, 2002.-372с.
4. Гапеев С.Н., Халимендик А.В., Халимендик А.В. К вопросу повышения устойчивости протяженных выработок и их сопряжений в условиях больших глубин разработки. Материалы 6-й Международной конференции. «Перспективы освоения подземного пространства» – Днепр.: НГУ, 2012 – С. 13-16.
5. В.Ф. Демин, Р.Н. Терещук. Оценка напряженно-деформированного состояния массива горных пород вблизи горной выработки с анкерным креплением// Форум гірників – 2013:матеріали між нар.конф., 2-5 жовт. 2013р., м. Дніпропетровськ. – Д: Національний гірничий університет, 2013. – Т.2., с. 63-69.
6. Hoek E. (2002). Practical Rock Engineering. London: Institution of Mining and Metallurgy. p. 325.
7. Hoek, E., Carranza-Torres, C. and Corkum, B.(2002), “Hoek-Brown criterion”, Proc. NARMS-TAC Conference, Toronto, Vol. 1, pp. 267–273.