

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КРЕПИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ «ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ВЫРАБОТКА – КРЕПЬ – ОХРАННАЯ КОНСТРУКЦИЯ»

*С.Ю. Шепеленко, ОП «Шахта «1/3 Новогородовская» ГП «Селидовуголь», Украина
С.Н. Ганеев, А.О. Логунова, Ю.В. Каргаполов, «Национальный горный университет», Украина*

Рассмотрены результаты калибровки численной модели и моделирования породного массива, включающего подготовительную выработку и охранную конструкцию лавы, для условий нижнего сопряжения 18 сев. лавы пласта I₁ ш. «1/3 Новогородовская ГП «Селидовуголь». Показано, что применение анкерных систем II уровня в зоне влияния лавы повышает устойчивость штрека, а установка анкеров в борта выработки снимает пучение пород почвы.

При эксплуатации шахт с увеличением глубины разработки одной из основных проблем является обеспечение устойчивости горных выработок. Наиболее подвержены влиянию горного давления пластовые выработки. 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 [1].

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 устанавливаются 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 нижнего сопряжения 18 сев. лавы пласта I₁ ш. «1/3 Новогородовская» ГП «Селидовуголь».

Поле ОП шахты 1/3 «Новогородовская» расположена в центральной части Красноармейского геолого-промышленного района. Угольный пласт I₁ представлен трехпачечным строением и разделяющими их породными прослоями аргиллита. Мощность верхней пачки изменяется от 0,18 до 0,45 м, средняя пачка от 0,96 до 1,10 м, нижняя пачка от 0,12 м до 0,20 м. Верхний прослой изменяется от 0,10 до 0,30 м, нижний от 0,01 до 0,06 м. Полезная мощность пласта - 1,52 м, средняя - 1,74 м. Мощность пласта колеблется от 1,70 м до 1,90 м. Уголь средней крепости ($f=1,7$), с линзами колчедана 5*20 см. (2-3 шт. на 1 м), контакт пласта с боковыми породами четкий. Залегание пласта и пород полого-волнистое, под углом 11-17°. Непосредственная кровля - аргиллит однородный, трещиноватый. В отдельных местах аргиллит выклинивается и непосредственно над пластом залегает песчаник 10% (мощностью 18-26 м), средней обрушаемости (A₂), обводненным, мощностью 16,0-30,0 м.

Непосредственная кровля пласта - аргиллит на остальных 90 % - однородный, трещеноватый, с обилием включений сидерита 2*3 см, средней крепости ($f=2-3$), малой устойчивости (Б), нижняя часть аргиллита непосредственной кровли является «ложной» кровлей мощностью от 0 до 0,5 м, неустойчивый (Б₂). Аргиллит - тонкоплитчатый, рассланцованный, разделенный по плоскостям расслоения, с частыми разноориентированными зеркалами скольжения, обрушается до плоскости трения мощностью до 0,5 м. Общая мощность аргиллита 0,0-5,0 м.

Отработка пласта I₁ в значительной степени осложняется наличием в пласте руслообразных размывов. Размывами, как правило, захвачена верхняя пачка пласта. Ширина до 5 м, глубина преимущественно 0,4 м, длина до 100 м. Заполнены размывы слабым ($f=1-2$), перематым аргиллитом. В среднем, наличие русловых размывов дает засорение породой на 0,02 м.

Непосредственная почва - алевролит «кучерявчик» 0.2 м, средней крепости ($f=3$), неустойчивый (П₁), склонный к размоканию и «пучению», ниже залегает более крепкий ($f=3-4$), мощностью до 1,5 м.

В целом горно-геологические условия отработки пласта I₁ относительно сложные. Существующие мероприятия по охране 18-го южного конвеерного штрека в районе сопряжения с окном лавы не обеспечивают должных условий для бесперебойной работы очистного участка - имеются значительные смещения контура, разрушения крепи штрека в районе сопряжения, пучение пород почвы. Для отработки параметров средств крепления и охраны штрека, основанных на применение анкерных систем в комбинации с традиционной рамной стальной крепью, были использованы численные модели рассматриваемой геомеханической системы. На численных моделях рассмотрено несколько вариантов реализации крепей и средств охраны штрека в районе сопряжения с лавой. При этом отработывался вариант двухуровневой анкерной системы: стандартные сталеполимерные 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. Схемы расположения анкеров в численных моделях представлены в табл 1.

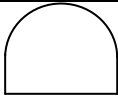

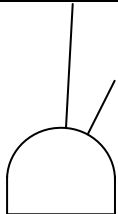
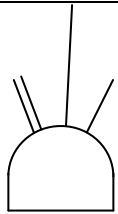
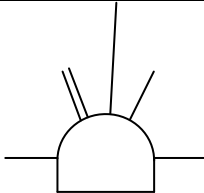
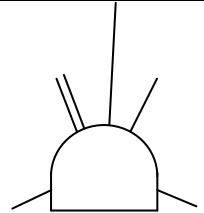
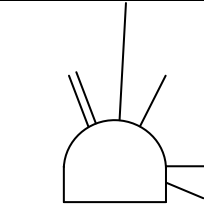
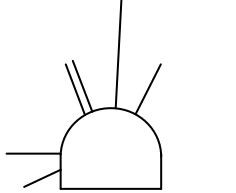
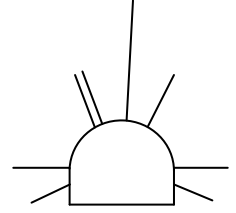
Для повышения устойчивости пород кровли сопряжений применяют анкерную крепь с полимерными химическими ампулами КА и ПА.

Моделирование геомеханических процессов, протекающих в окрестности выработки на различных стадиях ведения горных работ используется программный комплекс “Phase-2” канадской лаборатории геомеханики Rocscience.

Программа базируется на использовании метода 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) [3, 4].

Моделируется арочное сечение выработки в упруго-пластической постановке. 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.

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. |

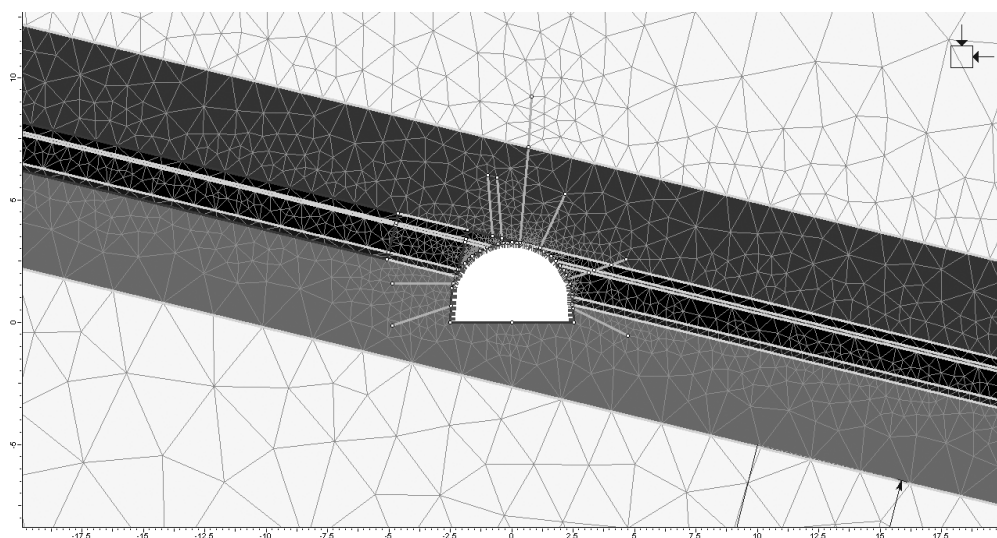
Конечноэлементная аппроксимация области осуществлялась посредством трёхузловых треугольных конечных элементов-треугольников.

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

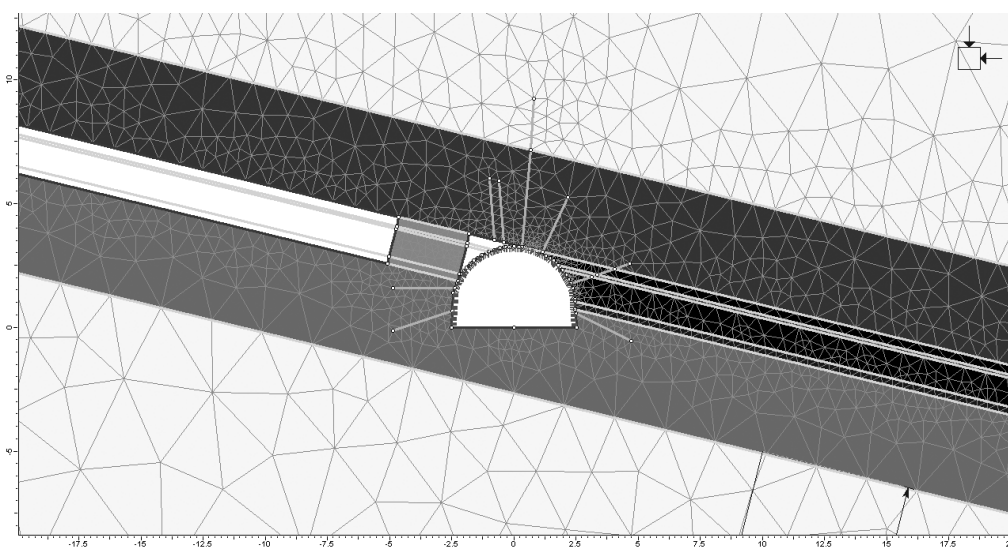
Боковые вертикальные границы также закрепляются в горизонтальном направлении (горизонтальные перемещения равны нулю).

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 верхняк крепи дополнительно усиливался с помощью двух стальных анкеров.

Ниже, на рис.1, приведены конечно-элементные модели для задачи о перемещениях на контуре выработки.



а)



б)

Рис. 1. 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

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.

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 |

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

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

Проанализировав предварительные результаты, полученные при решении поставленной задачи, можно сделать следующие 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 отработка 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 литературы

1. 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.
2. Булат А.Ф., Виноградов В.В. Опорно – анкерное крепление горных выработок угольных шахт. – Днепропетровск, 2002.-372с.
3. Hoek E. (2002). Practical Rock Engineering. London: Institution of Mining and Metallurgy. p. 325.
4. Hoek, E., Carranza-Torres, C. and Corkum, B.(2002), “Hoek-Brown criterion”, Proc. NARMS-TAC Conference, Toronto, Vol. 1, pp. 267–273.