

РАЗРАБОТКА И ВЕРИФИКАЦИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПОДРАБАТЫВАЕМОЙ СЛОИСТОЙ ПОРОДНОЙ ТОЛЩИ В ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ГП «УГОЛЬНАЯ КОМПАНИЯ «КРАСНОЛИМАНСКАЯ»

В.А. Чередник, Н.В. Хозяйкина, Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», Украина

Предложена геомеханическая модель слоистого породного массива, подрабатываемого лавой. Рассмотрены горно-геологические условия Государственного предприятия «Угольная компания «Краснолиманская». Выполнена верификация модели путем сравнения данных натурных измерений с результатами численного эксперимента. В результате решения задачи в программном комплексе Phase2 канадской компании Rockscience доказано, что плавное смыкание пород кровли и почвы происходит на расстоянии, в среднем, 24 метра от забоя лавы.

Анализ данных о работе Государственного предприятия «Угольная компания «Краснолиманская» показывает, что наиболее активное ведение очистных работ происходит по пласту M_4^2 . Пласт M_4^2 относится к свите C_2^7 «Горловская» Красноармейского геологопромышленного района. Мощность угольного пласта относительно выдержанная и варьирует в пределах 0,93 – 1,32 м. Угол падения пласта 7 – 8 град.

Непосредственная кровля представлена известняком серым (скрытокристаллический, трещиноватый, среднеустойчивый, склонный к обрушению, мощностью 0,5 – 5,7 м), выше залегает аргиллит, реже алевролит известковый мощностью до 9 м. Аргиллиты и алевролиты в непосредственной кровле неустойчивы и склонны к обрушению.

Основная кровля (аргиллиты и алевролиты мощностью до 10 м) весьма труднообрушаемая, склонная к плавному опусканию.

Почва представлена алевролитом, реже аргиллитом (склонен к пучению и размоканию мощностью до 1 м), который постепенно переходит в сланец песчаный (мощность 1 – 11 м), ниже которого залегает песчаник (1 – 21 м).

Собранные в результате натурных исследований данные являются основой для разработки математической модели. Модель позволяет варьировать параметры системы и проследить их влияние на исследуемый объект (механизм процессов сдвижения, деформации и разрушения горных пород при ведении очистных работ).

Для разработки геомеханической модели и проведения расчетов был использован программный комплекс (ПК) Phase2 канадской компании Rockscience.

При разработке модели породный массив синтезируется как слоистая среда, каждый слой которой обладает своими свойствами (коэффициент Пуассона, предел прочности на одноосное сжатие, модуль Юнга, трещиноватость, обводненность). Данные характеристики учитываются при введении параметров слоев породного массива, которые используются при моделировании. Помимо основных физико-механических характеристик ПК Phase2 позволяет учитывать такие параметры как:

- коэффициент геологической прочности (GSI Geological Strength Index), который отражает геологические особенности породного массива, его структуру и наличие трещин ($1 \leq GSI \leq 100$). Варьируется в пределах от 1 до 100, где 100 – абсолютно неповрежденный образец горных пород;

- предел прочности при одноосном сжатии (Intact Uniaxial Compressive Strength (MPa)). Библиотека ПК содержит список пород, из которых выбирают соответствующую. Можно выбрать как усредненные значения предела прочности, так и указать точное значение параметра ($0,25 \leq R_{сж} \leq 250$);

- константа для нетронутого массива пород (Intact Rock Constant - m_i). Ее величина зависит от рассматриваемого породного массива ($4 \leq m_i \leq 33$). Например, для песчаника значение m_i изменяется в пределах от 4 до 17. Константа m_i учитывает только генезис и текстуру горных

пород. Большая величина m_i соответствует хрупким породам, чем она меньше, тем пластичнее порода, а при $m_i = 0$ имеет место идеальная пластичность;

- параметр D (disturbance factor). Дополнительный параметр, позволяющий учитывать нарушенность породного массива. Изменяется в пределах $(0 \leq D \leq 1)$, где 0 – ненарушенная, прочная порода, а 1 – максимально нарушенная. Выбирается на основе визуального натурального обследования пород [1].

С учетом того, что система разработки – это длинные столбы по простиранию, то расчетная схема к решению задачи [2] представлена на рис.1.

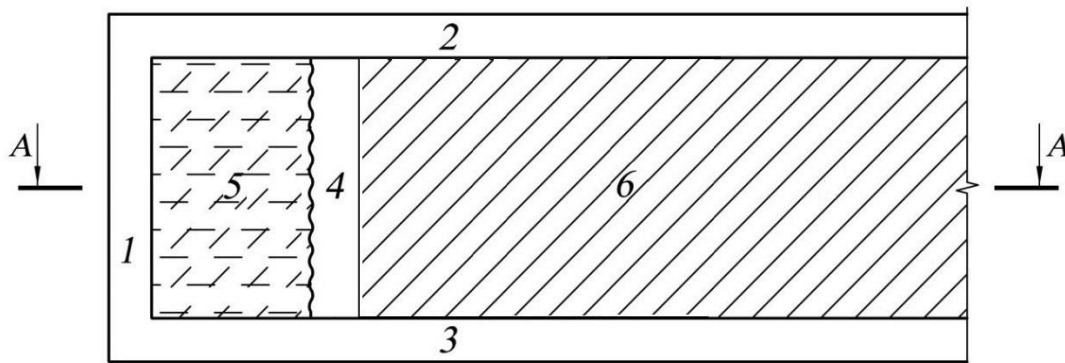


Рис. 1. Расчетная схема к решению задачи: 1 – монтажная камера; 2 – вентиляционный штрек; 3 – откаточный штрек; 4 – очистной забой; 5 – выработанное пространство лавы; 6 – угольный пласт.

Общий вид конечноэлементной модели пород углевмещающей толщи для пласта M_4^2 представляет собой поперечный разрез, т. е. центральное сечение посередине лавы по мере отхода забоя от монтажной камеры. Общий вид модели, разработанной в программном комплексе Phase2, представлен на рис.2.

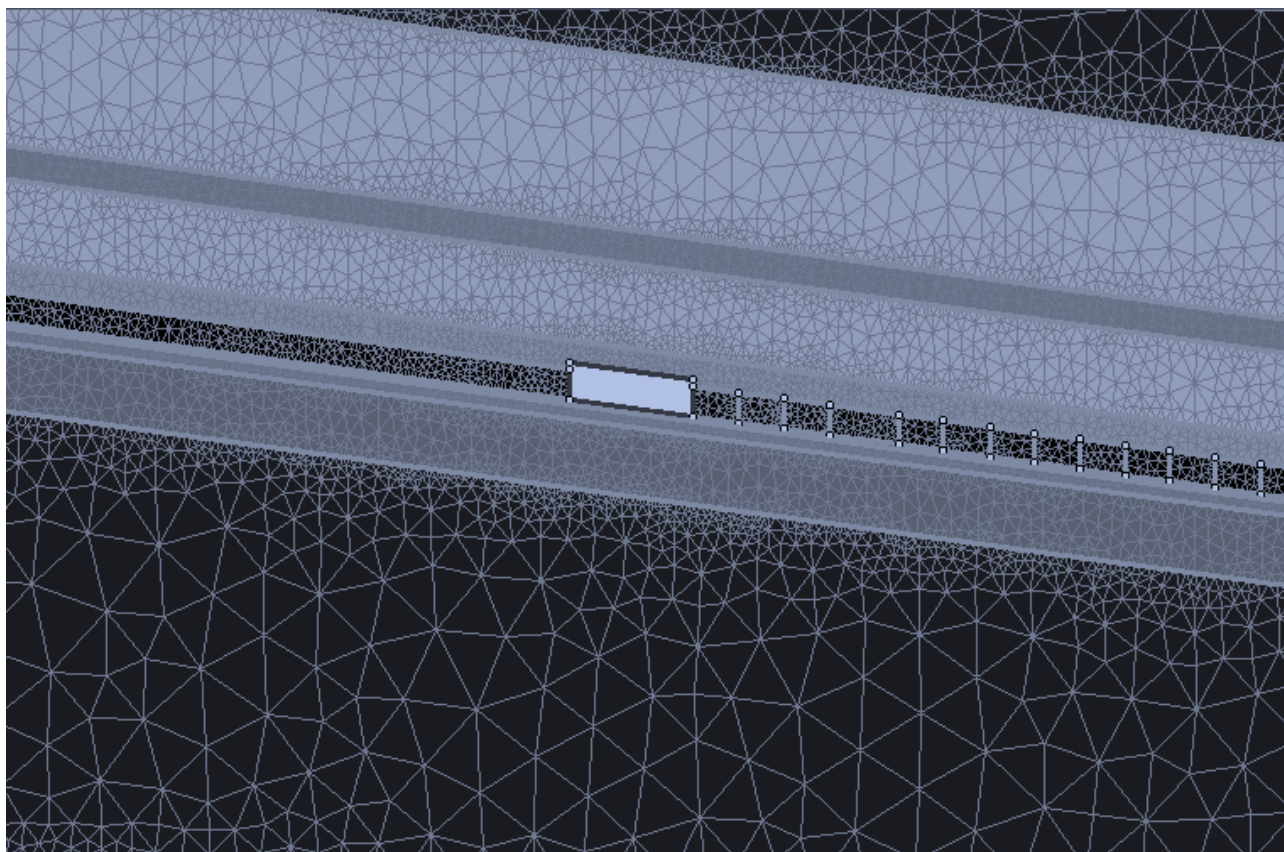


Рис.2. Общий вид конечноэлементной геомеханической модели

ПК Phase2 позволяет моделировать поэтапное раскрытие выработок, учитывая на каждой последующей стадии в качестве начальных те деформации, которые реализованы на предыдущей стадии формирования напряженно-деформированного состояния. Решалась упругопластическая задача с применением критерия прочности Хоека - Брауна, который для условий нетронутого (ненарушенного) породного массива имеет вид:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + R_c \left(m_i \frac{\sigma_3}{R_c} + 1 \right)^{0.5} \quad (1)$$

Обобщенная формула критерия прочности Хоека - Брауна, имеет следующий вид:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + R_c \left(m_b \frac{\sigma_3}{R_c} + s \right)^a \quad (2)$$

Здесь σ_1 и σ_3 – максимальное и минимальное действующие напряжения, R_c – среднее значение предела прочности на одноосное сжатие породных образцов, m_b – константа Хоека - Брауна, учитывающая генезис и состояние (качество) породного массива, s и a константы, вытекающие из аппроксимации степенной функцией огибающей кругов напряжений, полученных при объемном сжатии образцов [1].

Программный комплекс Phase2 на основе введенных данных рассчитывает значения констант m_b , s и a для каждого породного массива.

Так же программный комплекс позволяет моделировать деформацию массива поэтапно, способом «нагружения». При данном способе моделируется массив, вмещающий выработку, который находится в невесомом состоянии (нагрузка, создаваемая слоем вышележащих пород, равна нулю). На каждой последующей стадии величина нагрузки постепенно увеличивается вплоть до полного нагружения на 20-й стадии до предельной нагрузки, равной γH , где $\gamma = 25 \text{ кН/м}^3$ – усредненный объемный вес пород, H – глубина разработки, принятая равной 500 м, что соответствует пикету №45 пласта M_4^2 [3]. Геологическое строение пласта в пределах рассматриваемой области представлено на рис. 3.

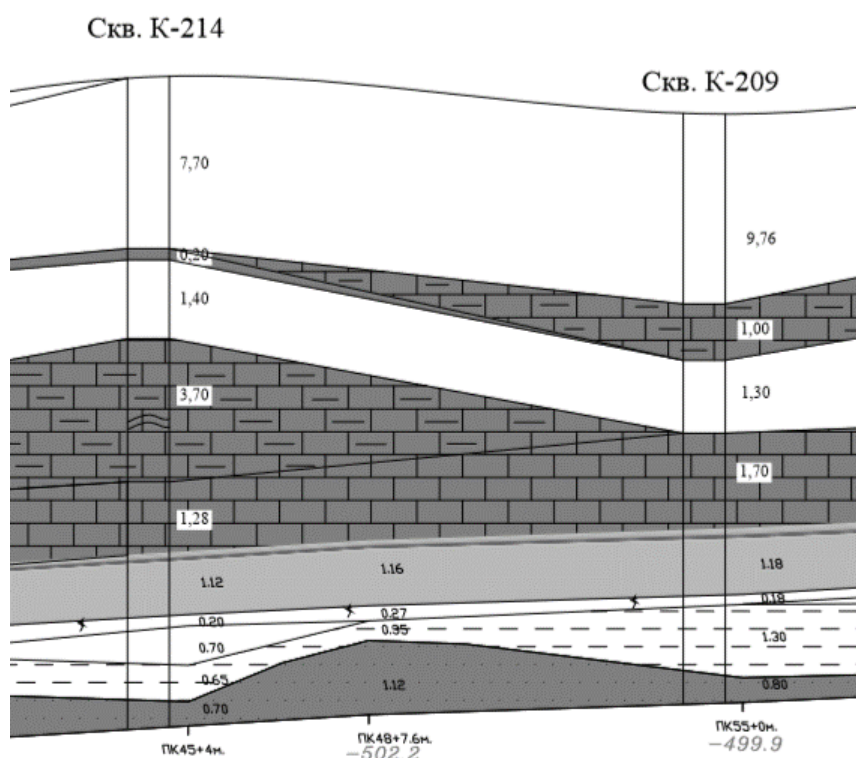


Рис. 3. Геологический разрез по 4 конвейерному штреку пласта M_4^2

Учитывая имеющиеся данные и результаты расчетов, физико-механические свойства пород углевмещающей толщи, моделируемой в ходе решения задачи для пласта M_4^2 , представлены в таблице 1.

Физико-механические характеристики породного массива

Наименование породного слоя	Модуль Юнга Е, МПа	Коэффициент Пуассона, μ	Предел прочности на одноосное сжатие $R_{сж}$, МПа
Уголь	5200	0,3	20
Известняк	11905	0,28	36
Сланец	1715	0,36	21
Аргиллит	1531	0,4	30
Алевролит	3062	0,38	25
Песчаник	4042	0,33	36

Для верификации численной модели необходимо провести сравнения результатов работы данной геомеханической модели с результатами натуральных изменений. Для этого исследуется поведения породного массива около выработанного пространства лавы.

Задача данного исследования состоит в установлении закономерностей смещения горных пород около выработанного пространства для определения расстояния, на котором происходит смыкание пород кровли и почвы позади забоя лавы.

Разработка угольных пластов непременно приводит к смещению пород, расположенных около очистной выработки. В процессе ведения очистных работ по пласту посадка основной кровли и поднятия почвы в лаве зависит от свойств залегающих пород (структура, текстура, мощность, трещиноватость, обводненность). Для технологических целей важно определить параметры процесса смещения пород. Наличие в основной кровле аргиллитов и алевролитов предполагает, что кровля труднообрушаема и склонна к плавному опусканию [4].

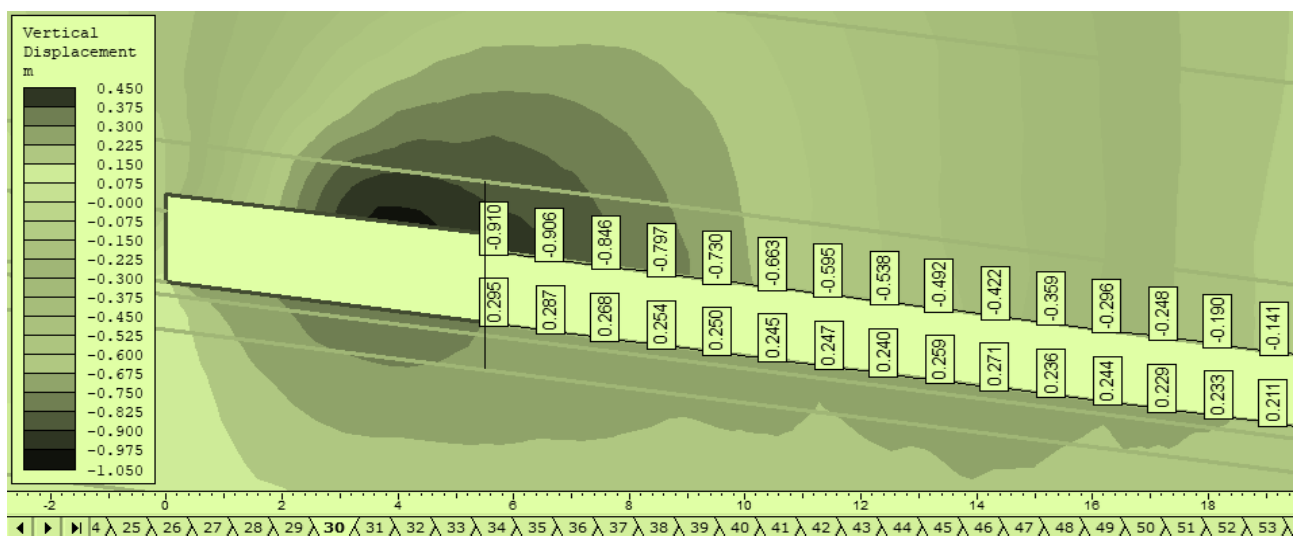
Моделирование происходит в два этапа:

- определение точки первичного смыкания пород кровли и почвы;
- подтверждение установившегося шага и расстояния между забоем лавы и точкой смыкания ($l_{см}$).

На первом этапе определяется точка первичного смыкания пород кровли и почвы при продвижении очистного забоя [5].

Точка смыкания пород кровли и почвы зависит от величины их вертикальных смещений, т.е. когда сумма величин смещения кровли $U_{кр}$ и почвы $U_{п}$ равняется мощности пласта $m_{уг}$, тогда и происходит первичное смыкание (рис.4):

$$U_{кр} + U_{п} = m_{уг} \quad (3)$$

Рис. 4. Величины вертикальных смещений кровли $U_{кр}$ и почвы $U_{п}$

Исходя из представленных значения смещений пород кровли и почвы на 30 стадии моделирования ($U_{кр} = 0,91$ м, а также $U_{п} = 0,33$ м) и учитывая мощность угольного пласта ($m_{уг} = 1,3$ м), можем сделать вывод, что точка смыкания найдена. На предыдущей (29 стадии) данные величины смещений равны 0,93 м и 0,3 м соответственно, что не удовлетворяет условию возникновения смыкания.

В результате расчета модели получена точка смыкания и определено расстояние от забоя лавы до нее (рис.5), которое составило 24 метра.

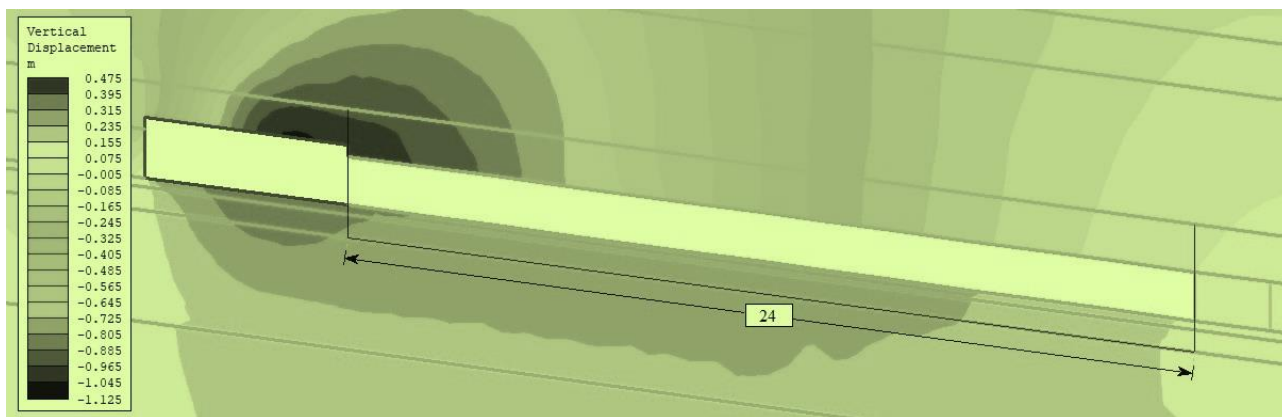


Рис. 5. Расстояние от точки смыкания пород кровли и почвы до забоя лавы ($l_{см}$)

Основной задачей второго этапа моделирования является подтверждение установившегося шага и расстояния между забоем лавы и точкой смыкания ($l_{см}$). Для этого происходит изменение расчетной схемы. Оно состоит в том, что изменены границы вырабатываемого пространства в соответствии с полученными данными на первом этапе [6]. Учтены величины вертикальных перемещений пород кровли $U_{кр}$ и почвы $U_{п}$ в пределах угольного пласта с заданной мощностью $m_{уг}$.

Все расчеты производятся постадийно. Шаг подвигания забоя (стадия) равен 1 м (Δl_1). Схема для расчета на втором и последующих этапах имеет аналогичный по отношению к предшествующим вид с учетом накопленных изменений (рис.6).

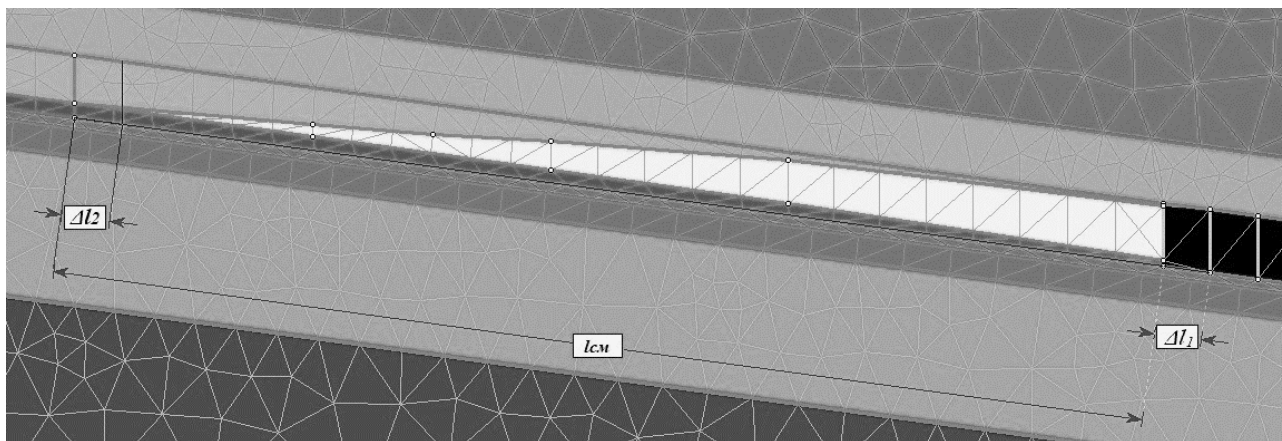


Рис. 6. Общий вид геомеханической модели на n-этапе

Данная модель позволяет условно рассмотреть подвигание забоя лавы во времени, где Δl_1 – шаг подвигания забоя, Δl_2 – шаг смыкания пород кровли и почвы. При этом величина $l_{см}$ – расстояния между забоем лавы и точкой смыкания пород кровли и почвы остается постоянной, что отражено зависимостью:

$$\Delta l_2 = \Delta l_1 \pm 5\% \quad (4)$$

Получаем, что при подвигании забоя лавы на 1 метр точка смыкания пород кровли и почвы смещается на аналогичное расстояние, что подтверждено результатами математического моделирования на втором и последующих этапах.

Выводы

1. Выполнено обоснование геомеханической модели деформирования слоистого породного массива при образовании свободного пространства (лавы) по пласту M_4^2 в горно-геологических условиях ГП «УК «Краснолиманская».
2. Осуществлена верификация модели путем сравнения натуральных измерений в лаве с результатами численного эксперимента.
3. Подтверждена возможность использования модели для дальнейших исследований в условиях 4-ого северного конвейерного штрека пласта M_4^2 ГП УК «Шахта Краснолиманская».
4. Установлено, что процесс деформирования системы «породы кровли – почвы» носит характер плавного смыкания на расстоянии 24 метра от забоя лавы.

Список литературы

1. Шашенко А.Н. Геомеханика: учебник для ВУЗов/ А.Н. Шашенко, В.П. Пустовойтенко, Е.А. Сдвижкова. – К.: Новий друк, 2016. – 528с. – С. 122 – 124.
2. Киячков А.П., Брайцев А.В.. Горное дело: Учеб. для техникумов. / А.П. Киячков, А.В. Брайцев. – М.: Недра, 1989. – 422 с. – С. 130, 144.
3. Логунова А.О. Устойчивость геомеханической системы «подготовительная выработка-лава-охранная конструкция» в условиях шахт ГП «Селидовуголь» / А.О. Логунова, А.В. Солодянкин, Ю.В. Каргаполов, С.В. Машурка // Матеріали IV регіональної науко-практичної конференції «Проблеми гірничої технології». - Красноармійськ, КП ДонНТУ, 2014.– С.101 – 108.
4. Шашенко А.Н. Некоторые задачи статистической геомеханики / А.Н. Шашенко, С.Б. Тулуб, Е.А. Сдвижкова. – К.: Універ. вид-во “Пульсари”, 2002. – 304 с.
5. Хозяйкина Н.В. Напряженно-деформированное состояние породного массива при плавном опускании основной кровли. / Н.В. Хозяйкина, В.А. Чередник, А.И. Дубовик// Журнал «Уголь Украины», 3, 2017. – С. 35 – 37
6. Дубовик А.И. Геомеханическая модель процесса плавного опускания кровли при отработке пологого угольного пласта. / А.И. Дубовик, В.А. Чередник. // Материалы международной конференции «Форум горняков - 2017». – 2017. – Д.: Національний гірничий університет, 2017. – 400 с. – С. 166 – 169.