

УДК 622.831.3:622.026.7

*Кизияров О.Л.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ПОДВИГАНИЯ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ НА НДС КРОВЛИ В ЛАВЕ**

*Наведені результати досліджень впливу швидкості посування очистного вибою на напружено-деформований стан кровлі.*

*Ключові слова: повзучість, відносні деформації, еквівалентні напруження.*

*Приведены результаты исследований влияния скорости подвигания очистного забоя на напряженно-деформированное состояние кровли.*

*Ключевые слова: ползучесть, относительные деформации, эквивалентные напряжения.*

Широко известно, что с увеличением глубины разработки угольных пластов происходит ухудшение состояния кровли в лаве, представленной аргиллитами, алевролитами. Одним из факторов, влияющих на состояние кровли в очистном забое, является его скорость подвигания. Исследование влияния скорости подвигания очистного забоя на НДС кровли с целью установления закономерностей образования зон потерь устойчивости и вывалообразования из кровли является актуальной задачей геомеханики. Решением рассматриваемой задачи занимались ряд авторов. Так, в работе [1], авторами исследовано распределение повреждений и области разрушения в кровле при различных скоростях подвигания очистного забоя с учетом эволюции углепородного массива. Влияние скорости подвигания на характер и величину опорного давления впереди очистного забоя исследовано автором в работе [2]. Динамика разрушения пород над призабойным и в выработанном пространстве рассматривается в работе [3]. Было установлено, что при высоких скоростях подвигания лавы призабойная область не претерпевает значительных разрушений. Недостатком перечисленных работ является то, что исследуемые модели плоские, что не дает возможность учесть положение забоя выемки вдоль лавы.

Цель работы - исследование изменения напряженно-деформированного состояния кровли в зависимости от скорости подвигания лавы.

Объект исследования - нижний слой кровли призабойного пространства.

Предмет исследования - напряженно-деформированное состояние поверхности кровли в очистном забое.

Для достижения поставленной цели решена задача методом конечных элементов с учетом наследственной ползучести, в которой использован метод переменных модулей, предложенных авторами в работе [4]. Сущность заключается в том, что влияние времени учитывается путем замены деформационных характеристик массива временными функциями. В этом случае, деформационные характеристики определяются по формулам:

$$\bar{E} = \frac{E_0}{1 + \varphi(t)}, \text{ МПа}; \quad (1)$$

$$\bar{G} = G \frac{2(1 + \mu)}{1 + 3\varphi(t)}, \text{ МПа}; \quad (2)$$

$$\bar{\mu} = 0,5 - \frac{0,5 - \mu}{1 - \varphi(t)}, \quad (3)$$

где  $\bar{E}$ ,  $\bar{G}$ ,  $\bar{\mu}$  - модуль упругости, модуль деформации и коэффициент Пуассона в момент времени  $t$ , соответственно;

$\varphi(t)$  - функция ползучести горных пород, учитывающая изменение свойств угольного массива во времени, определяемая по формуле

$$\varphi(t) = \frac{\delta t^{1-\alpha}}{1 - \alpha}, \quad (4)$$

где  $\alpha$ ,  $\delta$  - параметры ползучести горных пород, значения которых приняты согласно [5].

Метод переменных модулей предполагает замену деформационных характеристик временными функциями для всего массива, однако изменение свойств во времени необходимо учитывать только в зоне влияния очистной выработки. В работе [4], авторами предложен ввод в формулу функции ползучести дополнительного коэффициента концентрации напряжений  $k_b$ , определяемого по формуле

$$k_b = \left| \frac{\tau_{\text{oct}} - \tau_{\text{oct}}^0}{\tau_{\text{oct}}^0} \right|, \quad (5)$$

где  $\tau_{oct}$  - октаэдрические касательные напряжения в массиве вокруг очистной выработки, МПа, вычисляемые через компоненты напряжений по формуле

$$\tau_{oct} = \frac{1}{3} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}, \text{ МПа}, \quad (6)$$

$\tau_{oct}^0$  - октаэдрические касательные напряжения в нетронutom массиве, МПа, вычисляемые также по формуле (6).

Задача решена с применением программного комплекса *Ansys*. Моделирование добавления и удаления элементов (снятие полосы угля) осуществлялось с помощью операторов *EALIVE* и *EKILL*, осуществляя рождение и смерть элементов (*element birth and death*). Скорость продвижения варьировалась в пределах  $v_{оч} = 2,4 \dots 5,8$  м/сут. В модели использованы средние горно-геологические условия: глубина разработки - 660 м, вынимаемая мощность пласта 1,2 м, предел прочности пород кровли на сжатие 40 МПа. На рисунке 1 представлены изополя октаэдрических напряжений, рассчитанных согласно формуле 6.

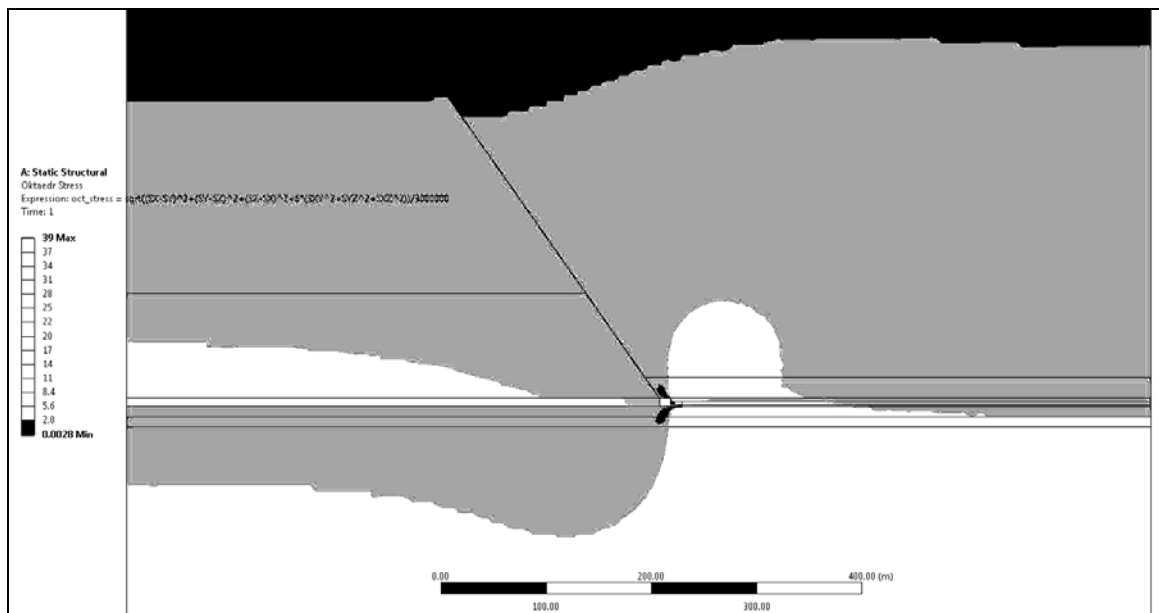


Рисунок 1 - Изополя октаэдрических касательных напряжений в массиве

Как видно из рисунка, рост касательных напряжений наблюдается в кровле, впереди очистного забоя и затухают на расстоянии 80...100 м от него. Также касательные напряжение возрастают в выработанном пространстве, по мере уплотнения пород. Распределение коэффициента концентрации упругих напряжений приведено на рисунке 2. Участки с

коэффициентом  $k_b < 0,2$  на рисунке представлены серым цветом и программой не учитывались при изменении свойств пород.

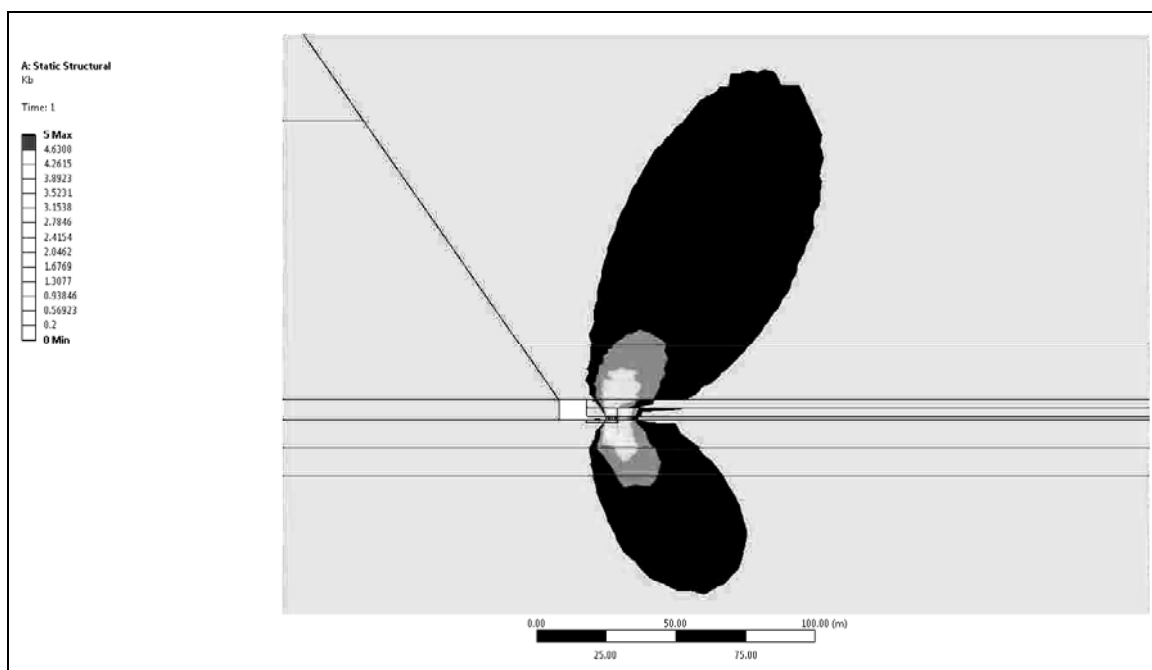


Рисунок 2 - Изополя коэффициента концентрации пластических напряжений

Как видно из рисунка 2, изополя коэффициента концентрации представлены в виде двух эллипсов, распространяющихся в кровлю и почву от угольного забоя.

Величина распространения зоны концентрации в кровлю пласта 120 м, в почву 70 м, впереди забоя около 80 м. Наибольшие значения  $k_b$  возникают непосредственно вблизи очистного забоя, достигая величин  $k_b = 3,5...4,6$  и по мере отдаления интенсивно затухают. Для учета скорости подвигания основная задача разбита на 5 связанных подзадач. В первой задаче происходит нагружение углепородного массива собственным весом. По результатам первой задачи производится вычисление коэффициента  $k_b$ , рассчитываются временные функции модуля упругости  $\bar{E}$ , коэффициента Пуассона  $\bar{\mu}$  и модуля сдвига  $\bar{G}$ . Каждому элементу присваиваются свойства с учетом продолжительности первого технологического цикла. Производится расчет второй задачи. При средней скорости подвигания лавы  $v_{оч} = 4,8$  м/сут изменение свойств боковых пород происходит за 16 суток до подхода забоя. В связи с тем, что протекание реологических процессов началось после отхода лавы от разрезной печи, что не учитывается в разработанной модели, то для того, чтобы повысить достоверность результатов решаются еще три задачи (аналогичные второй), в которых дополнительно извлекаются поло-

сы угля. В качестве критерия прочности приняты эквивалентные напряжения, рассчитанные согласно теории О. Мора.

На рисунке 3 представлены изополя эквивалентных напряжений при остановленном очистном забое ( $v_{оч} = 0$  м/сут).

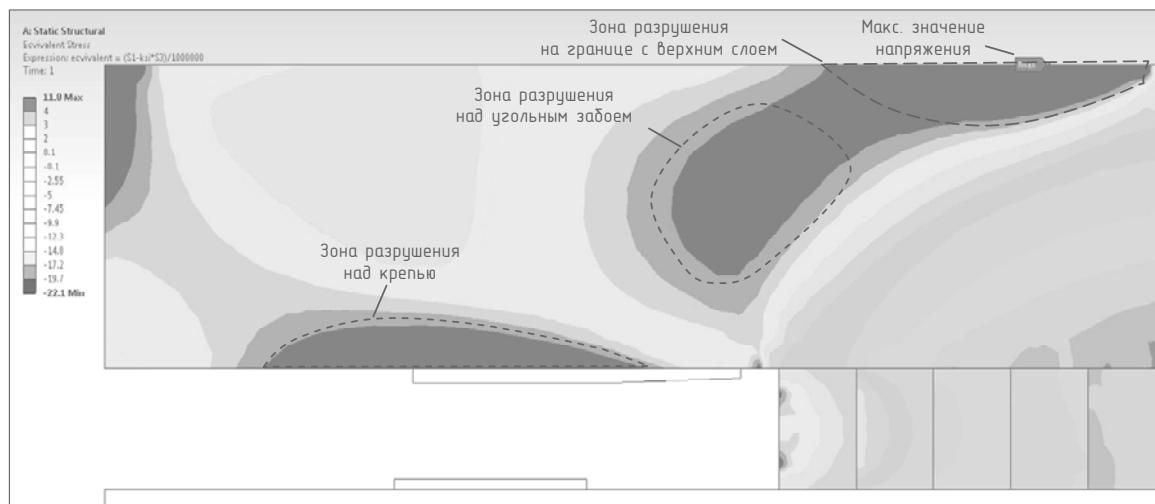


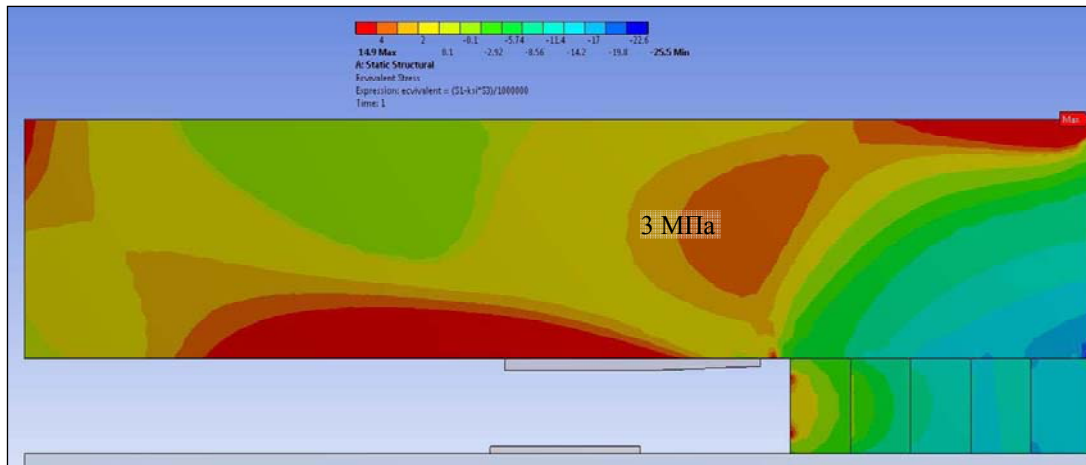
Рисунок 3 - Изополя эквивалентных напряжений при остановленном очистном забое

Как видно из рисунка 3 зоны разрушения (изолиния 4 МПа), образуются над крепью очистного забоя, а также в кровле над угольным забоем, распространяясь до границы с устойчивой кровлей. Разрушение происходит в основном от действия растягивающих напряжений.

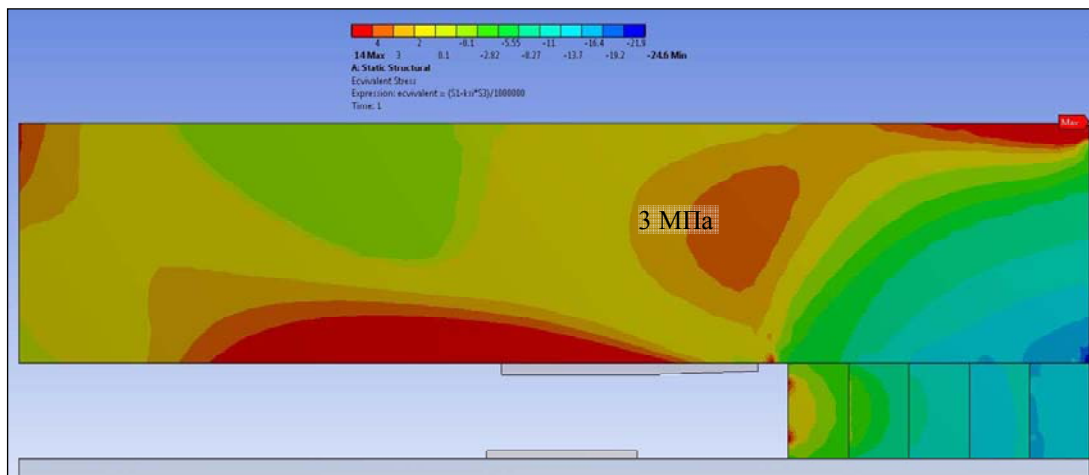
На рисунке 4 приведены изополя эквивалентных напряжений при различных скоростях подвигания очистного забоя. Из рисунка видно, что увеличение скорости подвигания лавы приводит к снижению максимальных растягивающих напряжений на границе с вышележащим слоем, что уменьшит расслоение пород, а также к снижению максимальных сжимающих напряжений, возникающих на границе кровли с пластом, что уменьшит отжим угля. Зона разрушения пород нижнего слоя кровли над угольным забоем не образуется, однако разрушение пород возможно при меньшей прочности пород ( $\sigma_p \leq 3$  МПа).

Далее рассмотрено влияние положение забоя выемки комбайном от замерной станции  $l_{зк}$  на относительные деформации поверхности кровли перпендикулярно очистному забоею.

а)  $v_{оч} = 2,4 \text{ м/сут}$  ( $T_{II} = 28800 \text{ с}$ )



б)  $v_{оч} = 4,8 \text{ м/сут}$  ( $T_{II} = 14400 \text{ с}$ )



в)  $v_{оч} = 7,2 \text{ м/сут}$  ( $T_{II} = 9600 \text{ с}$ )

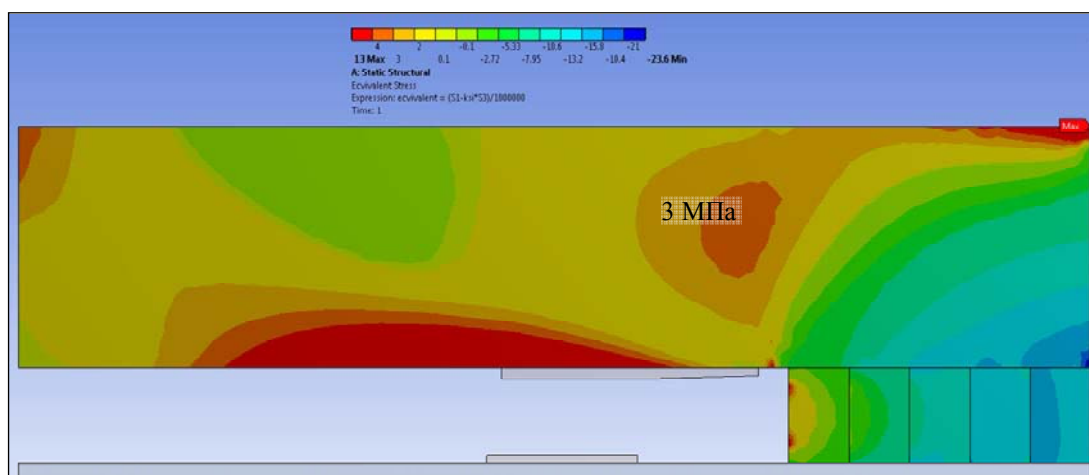


Рисунок 4 - Изополя эквивалентных напряжений при различной скорости подвигания очистного забоя

На рисунке 5 представлены зависимости, полученные: при решении упругопластической задачи, при решении задачи с учетом наследственной ползучести и полученные по результатам натурных исследований для шахты 19 партсъезда ГП Луганскуголь (значения факторов близки к средним).

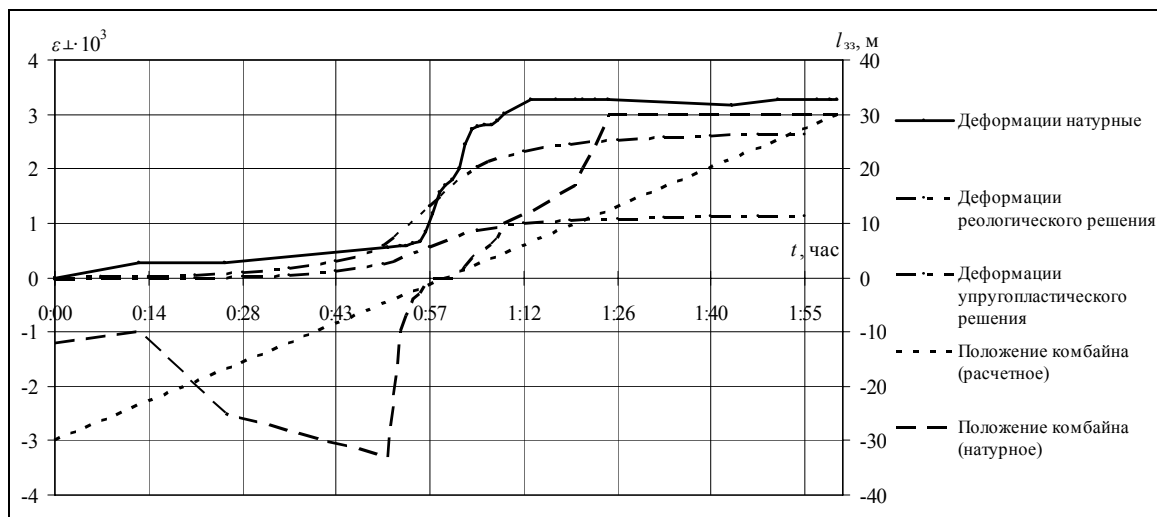


Рисунок 5 - Графики зависимостей относительных деформаций поверхности кровли

Исходя из рисунка 5, при решении упругопластической задачи деформирование поверхности кровли начинается при подходе комбайна на расстояние 9 м до замерной станции и продолжается на протяжении отхода комбайна на 10 м. Максимальные относительные деформации перпендикулярно ЛОЗ составили  $1,1 \cdot 10^{-3}$ .

При решении задачи с учетом наследственной ползучести пород процесс деформирования кровли начинается за 15 м до подхода и заканчивается за 15 м после отхода выемочного комбайна. Сравнивая кривые деформирования можно сделать вывод, что решение задачи с учетом ползучести более точно соответствует натурным результатам. Расхождение значений относительных деформаций при этом составляет 19%, что можно считать удовлетворительным показателем.

Также расчетами установлено, что при увеличении скорости подвигания очистного забоя в 2 и 3 раза, относительные деформации уменьшаются до значений  $2,05 \cdot 10^{-3}$  и  $1,96 \cdot 10^{-3}$  соответственно, что в процентном отношении составило 73% и 68%, по отношению к деформации  $2,8 \cdot 10^{-3}$  при  $v_{оч} = 2,4$  м/сут.

#### Выводы:

Решением задачи с применением наследственной ползучести установлено, что увеличение скорости подвигания очистного забоя при-

водит к снижению эквивалентных напряжений в кровле пласта и, как следствие, улучшению ее состояния. Увеличение скорости подвигания забоя с 2,4 до 4,8 (в два раза) и до 7,2 (в три раза) приводит к снижению относительных деформаций поверхности кровли перпендикулярно очистному забою на 27% и 32% соответственно. Сравнение рассчитанных относительных деформаций с натурными значениями показало расхождение в 19%, что можно считать удовлетворительным показателем.

### **Библиографический список**

1. Макаров П.В. Моделирование обрушения кровли над выработанным пространством / П.В. Макаров, И.Ю. Смолин, Е.П. Евтушенко, А.А. Трубицын, Н.В. Трубицина, С.П. Ворошилов // Физ. мезомех. - 2008. - Т.11. - №1. - С. 44 - 50.

2. Халимендигов Е.Н. Оценка влияния скорости подвигания очистного забоя на состояние призабойной зоны по результатам ретроспективного геомеханического анализа / Евгений Николаевич Халимендигов // Науковий вісник НГУ. - 2009. - №8. - С. 29 - 31.

3. Мустафин М.Г. Влияние скорости подвигания очистного забоя на динамику разрушения пород кровли угольного пласта / Мурат Газизович Мустафин // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.: МГУ. - 2008. - №1. - С. 17-22.

4. Павлова Л.Д. Моделирование циклического характера обрушения горных пород при проведении выработки с последовательным накоплением повреждений / Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов // Известия Томского политехнического университета. - 2004. - Т. 307. - №2. - С.76 - 79.

5. Комисаров С.Н. Управление массивом горных пород вокруг очистных выработок / С.Н. Комисаров. - М.: Недра, 1983. - 237 с.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. Клишиным Н.К.*