

## ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ПРОЙДЕННОЙ ДЕМОНТАЖНОЙ КАМЕРЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМАХ ЕЕ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПАО «ДТЭК ПАВЛОГРАДУГОЛЬ»

*А.В. Мартовицкий, В.И. Пулюгин, ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», Украина  
Е.А. Сдвижкова, Д.В. Бабец, ГВУЗ «Национальный горный университет», Украина*

Проведено численное моделирование изменения параметров геомеханической системы «очистная выработка – демонтажная камера» в горно-геологических условиях шахты «Степная». Выполнен сравнительный анализ влияния формы сечения предварительно сооруженной демонтажной камеры на перемещения породного контура.

### **Актуальность**

При разработке тонких угольных пластов в условиях шахт ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» основной задачей является повышение темпов угледобычи при одновременном обеспечении безопасности труда рабочих.

С этой целью ПСП «Шахта Степная» осуществляет внедрение первого в Западном Донбассе стругового комплекса, изготовленного мировым лидером производства горно-шахтного оборудования – компанией Viscugus DBT. Это оборудование проектировалось и производилось с учетом горно-геологических условий ПСП «Шахта Степная», что обеспечило стабильную работу комплекса при нагрузке на очистной забой 3000 - 3500 тонн в сутки и высоком уровне безопасности труда шахтеров, поскольку добыча угля осуществляется в автоматическом режиме, без присутствия человека непосредственно в очистном забое. При эксплуатации такого высокоэффективного оборудования одной из острых проблем является монтаж-демонтаж стругового комплекса, во время которого дорогостоящее оборудование простаивает, принося косвенный убыток около 1,5 млн. гривен в сутки при существующих ценах на товарный уголь.

В настоящее время демонтаж механизированных комплексов отечественного производства и его выдача осуществляется непосредственно по лаве с применением различных средств механизации грузоподъемных и транспортных операций. На последнем этапе отработки выемочного участка в тупике остановленной лавы формируется демонтажная камера (ДК) за счет увеличения вынимаемой мощности угля при подходе лавы к месту демонтажа, а также накрытия секций крепи деревянными досками и установки сплошной линии деревянных брусьев. Такая схема может иметь место только благодаря конструктивной особенности отечественных очистных комплексов: при демонтаже секции снимается поджимная консоль, после чего осуществляется разворот секции, установка ее в транспортное положение параллельно линии забоя лавы и выдача по транспортной дороге. Следует отметить, что разворот секций в ограниченном пространстве лавы является наиболее опасным технологическим процессом с высокой степенью риска и травматизма.

Что касается комплексов зарубежного производства, то конструктивная увязка секций механизированной крепи DBT, лавного конвейера PF3/822 и струговой установки GN800 в принципе не позволяют осуществить описанный выше маневр.

Одним из наиболее перспективных вариантов технологичной и безопасной постановки струговой лавы под демонтаж, является применение демонтажных камер, предварительно пройденных вне зоны очистных работ в тупиковой части выемочного столба (рис.1). Такой опыт накоплен за последние годы на угледобывающих шахтах разных стран мира. В частности, при отработке тонких угольных пластов предварительное сооружение демонтажных камер эффективно осуществляется в России на шахтах «Березовская», «Чергинская-Южная» и др. [1].

Опыт сооружения предварительно пройденных демонтажных камер (ППДК) указывает на необходимость заблаговременной подготовки проектных решений по обеспечению устойчивости таких камер. Обоснованный выбор формы поперечного сечения, типа и параметров крепи демонтажной камеры, мероприятий по снижению негативного влияния приближающегося фронта очистных работ обеспечат эффективное использование дизелевозного транспорта на подвесной монорельсовой дороге и достижение высоких темпов выдачи оборудования из ППДК.

**Целью данных исследований** является сравнение двух вариантов формы поперечного сечения ППДК, что в свою очередь определяет тип крепления камеры.

**Постановка задачи.** Внедрение щитового механизированного комплекса DBT 65/130V осуществлялось в 161-й лаве горизонта 330 м с демонтажем комплекса по окончании отработки выемочного столба и его последующим монтажом в 163-й лаве горизонта 490 м. Основанием для выбора формы сечения и типа крепи ППДК является сравнительный анализ компонентов напряженно-деформированного состояния породного массива в окрестности камер различной формы сечения при приближении к ней очистного забоя лавы.

Демонтажный штрек 161-й лавы проведен по пласту  $C_6$  на площади восточного крыла прирезки к полю шахты «Степная» (рис. 1). Углевмещающие породы представлены чередованием аргиллитов, алевролитов, реже – песчаников.



Рис. 1. Схема расположения демонтажного штрека 161-й лавы

На участке с ПК 0 до ПК12+5.6м камера проведена прямоугольным сечением шириной в проходке  $B_{пр} = 4200$  и высотой  $H_{пр} = 3000$  по пласту угля с верхней подрывкой. Начиная с ПК12+5,6 м осуществлен переход на арочную форму поперечного сечения (рис. 2), и выработка проводилась двумя встречными забоями для сокращения срока введения в эксплуатацию. Задача заключается в сравнении двух вариантов сечения камеры с точки зрения концентрации напряжений и реализации перемещений контура выработки на различных стадиях развития очистных работ при подходе к камере очистного забоя лавы.

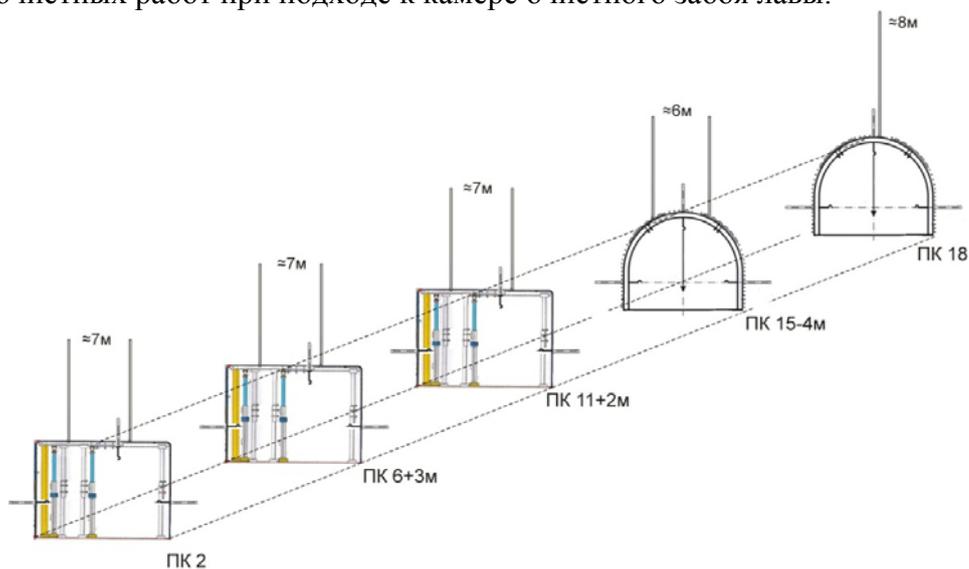


Рис. 2. Схема проведения демонтажной камеры

### Численное моделирование изменения напряженно-деформированного состояния породного массива вокруг монтажной камеры при подходе к ней лавы.

Расчеты выполнены методом конечных элементов с использованием лицензионной вычислительной среды «Phase2». Рассматривалась область породного массива, включающая очистную выработку, зону разрушенных пород позади очистного забоя, монтажную камеру (рис.3). Горные породы моделировались как слоистая среда, допускающая неупругие деформации. Алгоритм МКЭ, реализованный в среде «Phase2», позволяет определять напряженно-деформированное состояние (НДС) исследуемой области массива на различных стадиях развития горных работ. Путем изменения граничных условий моделируются полости различных размеров и на каждой стадии расчетов определяются компоненты поля напряжений, деформаций и перемещений. При этом, компоненты НДС, полученные на предыдущей стадии, учитываются в последующем шаге решения. Таким образом имитируется квазистатический процесс подвигания очистного забоя и приближения к существующей полости – монтажной камере.

Расчетные схемы для пошагового определения напряженно-деформированного состояния породного массива при приближении лавы к монтажной камере арочной и прямоугольной форм сечения представлены на рис. 3.

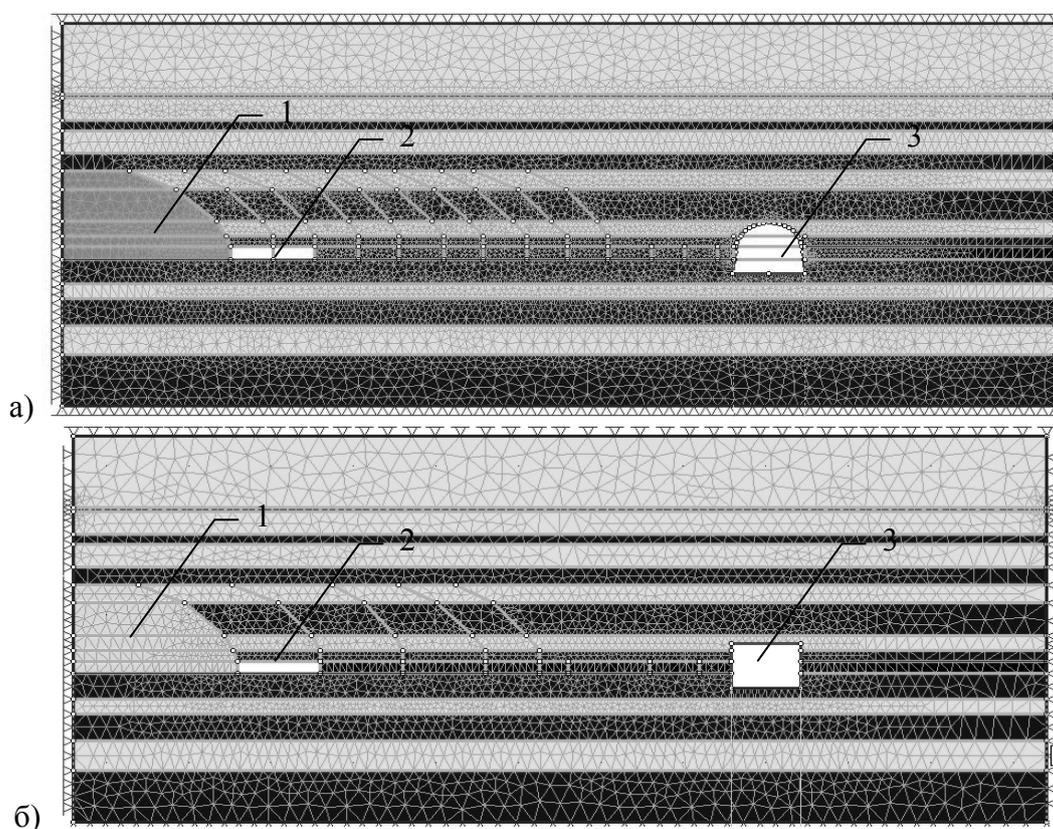


Рис. 3. Расчетные схемы для пошагового определения НДС породного массива при приближении лавы к монтажной камере:

а - арочной формы, б – прямоугольной формы;

1 – разрушенные породы; 2 – выработанное пространство; 3 – монтажная камера

Физико-механические свойства пород представлены в табл. 1. Здесь же приведены параметры обобщенного критерия Хюека-Брауна, который используется в качестве условия перехода пород в неупругую стадию деформирования. В соответствии с указанным критерием совокупность точек, в которых выполняется соотношение

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a,$$

представляет собой зону разрушения (неупругих деформаций). Здесь  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  - максимальные и минимальные напряжения в массиве,  $m_b$  - константа Хоека-Брауна для породного массива,  $s$  и  $a$  постоянные величины, учитывающие генезис и состояние (качество) породного массива,  $\sigma_{ci}$  - предел прочности на одноосное сжатие породного массива в нетронутом состоянии [2].

Именно размер зоны разрушения определяет величину перемещений приконтурных пород и нагрузку на крепь камеры.

Таблица 1

Физико-механические свойства пород и параметры обобщенного критерия Хоека-Брауна

Характеристики	Аргиллит	Алевролит	Уголь	Обрушенные породы
Модуль Юнга, МПа	3193,0	2981,7	11755,2	2268,1
Коэфф. Пуассона	0,3	0,3	0,3	0,3
Прочность породного образца на сжатие, МПа	32	43	37,5	7
Коэффициент структурного ослабления	0,5	0,5	0,4	-
Прочность на сжатие с учетом коэффициентом структурного ослабления, МПа	16	21,5	15	7
Параметр Хоека-Брауна, $m_b$	1,17	1,13	2,66	0,98
Дополнительный параметр обобщенного критерия Хоека-Брауна, $a$	0,51	0,51	0,5	0,51
Дополнительный параметр обобщенного критерия Хоека-Брауна, $s$	0,001	0,001	0,016	0,0007

Прочность пород на одноосное сжатие, как наиболее важная характеристика физико-механических свойств массива, определена с учетом коэффициента структурного ослабления  $Kc$ , зависящего от характеристик естественной трещиноватости пород [3].

$$Kc = \eta \cdot \arg F_0 \cdot (1 - P) + 1,$$

где  $\eta$  - относительная вариация прочности структурных элементов, которая характеризует степень неоднородности среды;  $P$  - заданная надежность определения коэффициента структурного ослабления, характеризующая уровень значимости объекта.

Для горизонта 330 м начальное поле напряжений в нетронутом массиве в соответствии с гипотезой о его гидростатичности и значении объемного веса  $24,1 \text{ кН/м}^3$  принято равным 11 МПа.

**Анализ результатов моделирования.** Устойчивость выработки определяется напряженно-деформированным состоянием породного массива вокруг выработки, которое формирует величину горного давления, а также способностью крепи выработки противостоять величине этого давления. Смещения пород вокруг выработки являются важнейшим показателем проявления горного давления. Анализ смещений играет основную роль при отнесении пород к той или иной категории устойчивости по общепринятым классификациям и оценке устойчивости подземного сооружения. Смещения пород - наиболее доступный для визуального наблюдения результат проявления горного давления.

Наиболее показательными для анализа являются перемещения, полученные на расстоянии 0,5 м от контура выработки, поскольку их можно сравнить с перемещениями реперных замерных станций, установленных при мониторинге демонтажной камеры 161-й лавы. Интерес

представляет также анализ изменений перемещений на различном расстоянии от контура (см. рис. 4 - б): непосредственно на контуре, на расстоянии 0,5 м, 1 м и 2 м от контура.

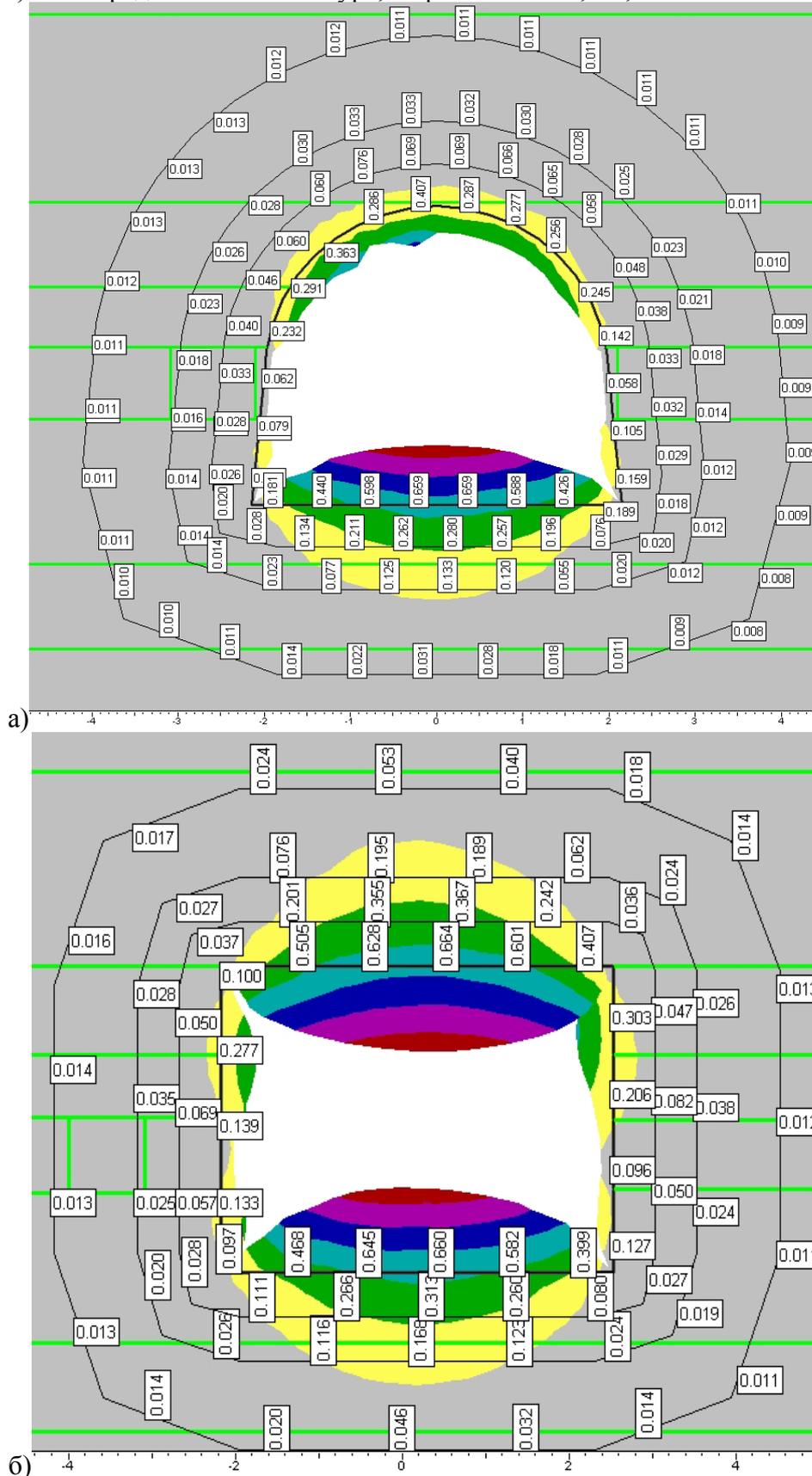


Рис. 4. Картина перемещений контура демонтажной камеры и на расстоянии 0,5 м, 1 м и 2 м от контура вне зоны влияния очистных работ (а - арочной формы, б – прямоугольной формы)





сечения: непосредственно на контуре демонтажной камеры, на расстоянии 0,5 м, 1 м и 2 м от контура в зависимости от сокращения расстояния от забоя лавы до борта камеры. Здесь же приведены результаты инструментальных наблюдений, полученных при мониторинге демонтажной камеры 161-й лавы.

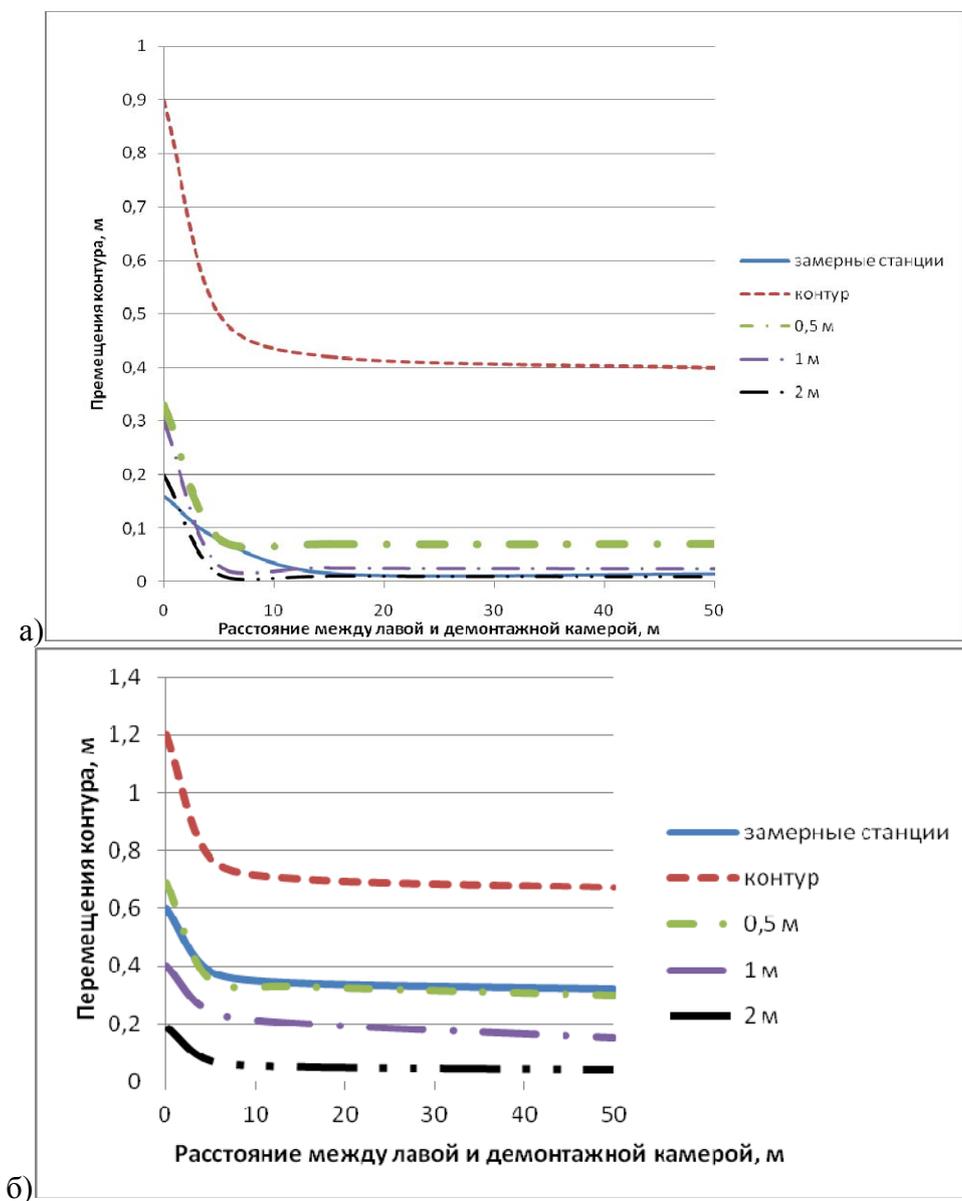


Рис. 7. Максимальные перемещения на контуре демонтажной камеры, на расстоянии 0,5 м, 1 м и 2 м от контура и реальные перемещения реперных замерных станций (а - арочной формы, б – прямоугольной формы)

Существенные приращения смещений в различных сечениях имеют место при сокращении расстояния между забоем струговой лавы и демонтажной камерой до 10 м.

Результаты сравнительного анализа перемещений породного массива на расстоянии 0,5 м от контура камер при различной форме ее сечения на момент полного сопряжения лавы с ДК показаны в табл.2.

Сравнение полученных результатов показало, что придание сечению предварительно пройденной демонтажной камеры арочной формы способствует уменьшению перемещений пород в кровле по сравнению с вариантом прямоугольной сечения на 45% в момент непосредственного подхода лавы к демонтажной камере. В обоих вариантах имеют место интенсивные деформации борта камеры при сопряжении ее с подъезжающей лавой.

Результаты сравнительного анализа перемещений породного массива на расстоянии 0,5 м от контура камер при различной форме ее сечения

Форма камеры	Смещения борта камеры со стороны лавы (м)	Смещения кровли камеры(м)	Смещения борта камеры со стороны целого массива(м)	Смещения почвы камеры (м)
Прямоугольная	0,5	0,69	0,12	1,1
Арочная	0,54	0,36	0,17	1,2

Компенсация интенсивного горного давления деформаций пород осуществляется путем установки с шагом крепи 0,5 м арочной податливой крепи КШПУ-11,7, изготовленной из спецпрофиля СВП22. В качестве крепи усиления при подходе к камере очистного забоя устанавливаются две линии балок из спецпрофиля СВП27, расположенных на расстояниях 0,5 - 0,8 м от замковых соединений основной крепи, а также две деревянные стойки. Балки из спецпрофиля закрепляются в массиве посредством сталеполимерных анкеров при их общей длине не менее 3,2 м с глубиной анкерования - не менее 3,0 м. Дополнительно устанавливаются канатные анкера длиной 6 м (рис. 8)

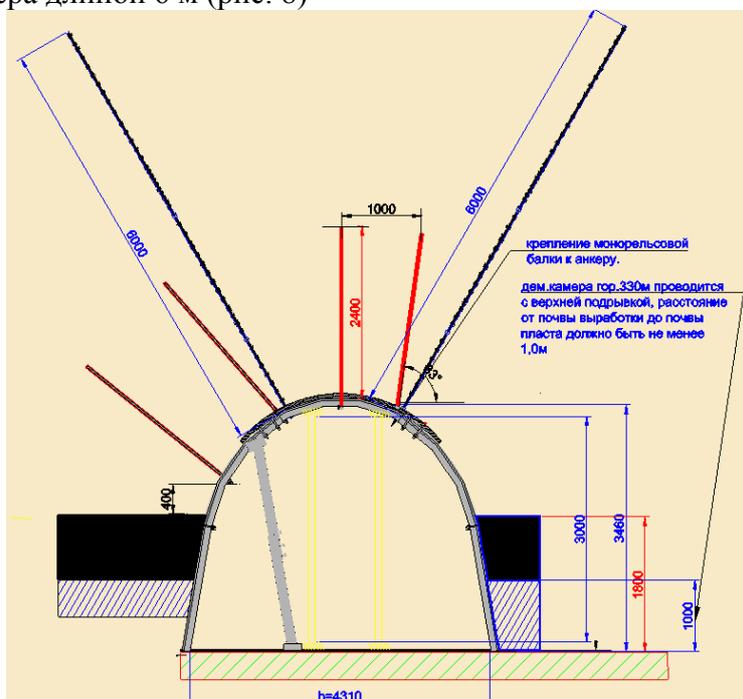


Рис.8. Схема крепления демонтажной камеры арочной формы

### Выводы

1. Взаимное влияние элементов системы «очистная выработка – демонтажная камера» в горно-геологических условиях шахты «Степная» становится значимым при сокращении расстояния между забоем лавы и ДК до 10-15 м.

2. При подходе лавы к демонтажной камере арочной формы сечения перемещения контура выработки в кровле составит 0,89 м; в боках 0,6 м и 0,7 м. Общее уменьшение камеры по высоте следует ожидать порядка 1,4 м, а по ширине 0,8 м, причем со стороны выработанного пространства – не менее 0,7 м. Для демонтажной камеры прямоугольной формы сечения соответствующие перемещения контура выработки в кровле составят 1,15 м; в боках 0,7 м и 0,8 м.

3. Для демонтажной камеры прямоугольной формы сечения перемещения в кровле выработки на расстоянии 0,5 м от контура достигают 0,69 м, что на 45% больше соответствующих максимальных перемещений контура выработки арочной формы сечения.

4. Перемещения контура демонтажной камеры увеличиваются (с учетом разброса данных) в 2 раза по сравнению с ситуацией когда взаимного влияния лавы и ДК не ощущается (20-25 м до подхода к камере).

5. Значения перемещений, полученные при численном моделировании, могут быть непосредственно использованы для разработки или уточнения паспорта крепи демонтажной камеры, а также для разработки мероприятий по усилению крепи лавы при подходе ее к демонтажной камере.

#### Список литературы

1. Разумов Е.А., Анисимов Ф.А., Райко Г.В., Гречишкин П.В. Канатный анкер АК01: предварительно пройденные демонтажные камеры // Уголь – 2011. - №6. – С. 20-23.
2. Hoek E. (2002). *Practical Rock Engineering*. London: Institution of Mining and Metallurgy. pp. 325.
3. Некоторые задачи статистической геомеханики / Шашенко А.Н., Тулуб С.Б., Сдвижкова Е.А. – К.: «Пульсари», 2002. – 304 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ЗОНЫ ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ СЛАБОМЕТАМОРФИЗИРОВАННЫХ ПОРОД ЗАПАДНОГО ДОНБАССА

*А.С. Иванов, Национальный горный университет, Украина*

*А.В. Мартовицкий, ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», Украина*

*Е.А. Сдвижкова, Национальный горный университет, Украина*

*В.В. Бабец, Украинский государственный химико-технологический университет, Украина*

В статье показан расчет размера зоны повышенного горного давления впереди очистной выработки с помощью численного моделирования трехмерной области, включающей очистную и подготовительную выработки, угольный пласт и зону обрушенных пород. Выполнено сравнение результатов моделирования с расчетом исследуемого параметра согласно действующим нормативам.

**Актуальность.** Одним из наиболее важных вопросов при разработке мероприятий по охране выработок в зоне влияния очистных работ является расчет величины зоны опорного давления (ЗОД). Этот параметр является основополагающим при проектировании охранных мероприятий в подготовительных выработках, находящихся в зоне влияния очистного забоя. Для условий шахт компании «ДТЭК Павлоградуголь», отработывающей угли Западного Донбасса, оценка ЗОД приобретает особое значение в связи с внедрением высокоэффективной технологии струговой добычи, которая предполагает предварительное сооружение камеры для демонтажа стругового комплекса в тупиковой части выемочного столба вне зоны влияния очистных работ. От количественных характеристик давления, идущего впереди лавы, зависит интенсивность нагружения крепи предварительно сооруженной демонтажной камеры при подходе к ней фронта очистных работ. Вывод секций механизированной крепи осуществляется после подхода лавы к борту демонтажной камеры вдоль всей линии очистного забоя, поэтому и оценка интенсивности опережающего давления необходима по всей длине лавы.

### 1. Расчет зоны временного опорного давления согласно нормативным документам действующих стандартов Минуглепрома

Согласно Стандарту Минуглепрома Украины (СОУ10.1.00185790.011.2007) [1] длину зоны временного опорного давления впереди лавы следует определять по формуле по формуле (1) Типовых материалов для проектирования ТМП 10.1.00185790.002.2010 [2]: