

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]:

$$l_{o,max} = (0,1 \cdot H + 10) \cdot (0,007 \cdot R_i + 0,72) \cdot (0,25 \cdot m + 0,75) \quad (1)$$

где  $H$  – глубина ведения работ, м;

$R_i$  – прочность вмещающих выработку пород, определяемая по формулам (4.4), (4.5) в СОУ 10.1.00185790.011:2007, МПа;  $m$  – вынимаемая мощность пласта, м.

Исходя из полученных значений длины зоны повышенного опорного давления можно определить длину опережающей части сопряжения с лавой, нуждающейся в дополнительных мерах усиления.

В качестве примера определим зону повышенного опорного давления согласно приведенным выше формулам для условий разработки пласта  $C_6$  шахты «Степная», где в настоящее время внедрена струговая выемка угля. Физико-механические свойства вмещающих пород приведены в табл. 1.

Глубина разработки  $H$  составляет 330 м. Применительно к горно-геологическим условиям шахт Западного Донбасса, при прочности отрабатываемых угольных пластов, примерно равной прочности вмещающих пород, для оперативности определения  $l_o$  с погрешностью не более 10%, допускается в качестве  $R_i$  применять прочность угольного пласта ( $R_y$ , МПа). Поэтому принимаем  $R_i = 36$  МПа. Мощность угольного пласта  $m = 1,15$  м.

Таблица 1. – Физико-механические свойства пород для моделирования

Характеристики	Аргиллит (почва)	Алевролит (кровля)	Уголь	Обрушенные породы
Модуль Юнга, МПа	3193	2981	11755	220
Модуль сдвига, МПа	1600	1500	6000	110
Коэфф. Пуассона	0,3	0,3	0,3	0,3
Массовая плотность, кг/м <sup>3</sup>	2400	2900	1700	700
Прочность на сжатие $k_c$ , МПа	32	44	36	10

Следовательно, длина зоны опорного давления, а следовательно и зона усиления поддержания впереди лавы для данных условий составит:

$$l_{o,max} = (0,1 \cdot 330 + 10) \cdot (0,007 \cdot 36 + 0,72) \cdot (0,25 \cdot 1,15 + 0,75) \approx 43,4 \text{ м}$$

В соответствии с требованиями нормативных документов следует принять длину зоны охраны поддержания впереди лавы по сборному и бортовому штрекам равной 45 метрам. В отношении оценки длины ЗОД в других сечениях лавы, находящихся на различных расстояниях от штреков (в том числе и в середине лавы), нормативные документы не содержат каких-либо рекомендаций.

Полное представление о распределении опорного давления впереди забоя лавы вдоль всего фронта очистных работ можно получить путем численного моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) массива в трехмерной постановке.

#### **Определение длины зоны опорного давления путем построения численной модели системы «лава – штрек – вмещающие породы»**

Задача о распределении напряжений в области массива, включающего выработанное пространство лавы, очистной забой, завальную часть, сопряжение с подготовительными выработками, целики угля и пород, является наиболее сложной в геомеханике. Несмотря на известные решения для трехмерных областей [3-6], нельзя считать их доступными для инженерных расчетов. В указанных работах фрагментарно приведены распределения напряжений в различных сечениях пространственных областей в зависимости от целей исследования. Применение полученных результатов для оценки напряженного состояния пород в иных условиях требует повторения всего комплекса расчетов.

Поэтому применительно к струговой выемки угля в условиях слабометаморфизированных

пород Западного Донбасса необходимо определить пространственное распределение напряжений для оценки возможных проявлений горного давления вблизи сопряжений лавы с подготовительными выработками, в том числе и с заранее проведенной демонтажной камерой.

На данном этапе методом конечных элементов определяется распределение напряжений в области массива, включающей очистную выработку (выработанное пространство лавы), зону обрушенных и уплотнившихся пород позади лавы, сопряжение лавы с бортовым (конвейерным штреком). Предполагается, что демонтажная камера (ДК) находится пока еще вне зоны влияния лавы и моделирующая ее полость не включена в расчетную схему.

В связи с симметричностью области рассмотрена 1/2 ее часть, содержащая подготовительную выработку и примыкающую к ней часть лавы. Для аппроксимации исследуемой области и построения конечно-элементной сетки использовано 485387 конечных элементов в программном обеспечении SolidWorks. В связи с большими размерами области и необходимостью значительного объема оперативной памяти ЭВМ для обработки многомерных массивов данных задача на данном этапе решается в упругой постановке.

Ширина выработанного пространства равна 20 метрам. Примыкающая к штреку часть лавы составляет 50 метров. Мощность угольного пласта 1м. Размеры штрека: ширина 4м, высота 3м. Для соблюдения граничных условий габаритные размеры модели принимались 83 x 100 метров. Условные обозначения и расположение сечений, в которых анализировалось распределение напряжений, приведены на рис.1.

Горизонтальное контрольное сечение  $h_0$  соответствует плоскости кровли угольного пласта. Сечение  $h_1$  находится на 1м выше сечения  $h_0$ , а сечение  $h_2$  соответственно на 1м выше  $h_1$ .

Вертикальное сечение  $v(0)$  соответствует плоскости борта штрека, ближнего к лаве. Сечение  $v(-3)$  соответствует плоскости дальнего от лавы борта штрека. Остальные вертикальные сечения  $v(1)$ ,  $v(2)$ ,  $v(25)$ ,  $v(45)$  смещены соответственно на 1, 2, 25 и 45 метров от  $v(0)$  в сторону лавы. Физико-механические характеристики вмещающих пород, приняты согласно табл. 1.

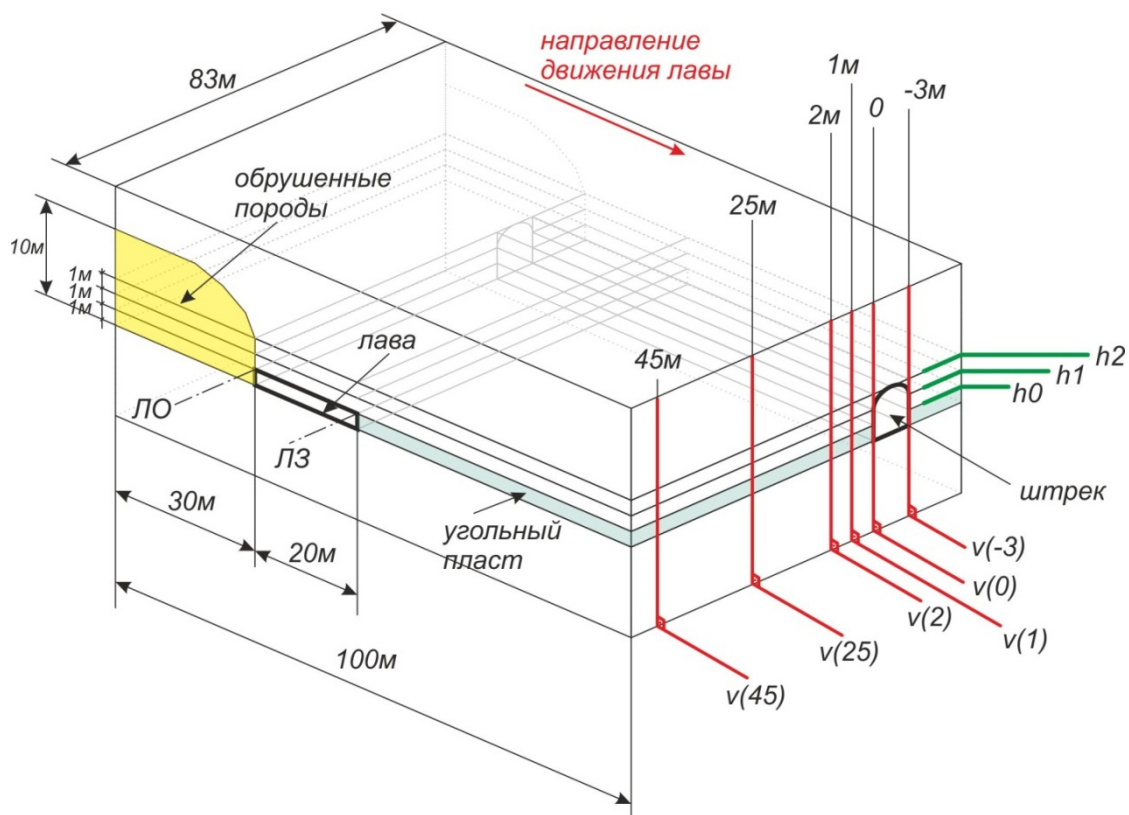


Рис. 1. Схема расположения контрольных сечений модели:  
красные – вертикальные сечения; зеленые – горизонтальные сечения;  
ЛО – линия обрушения; ЛЗ – линия забоя

Следует отметить, что понятие «горное давление», в том числе и «опорное горное давление» является собирательным, характеризующим качественную сторону явления и не имеет количественного выражения. Чаще всего, характеризуя горное давление подразумевают вертикальную составляющую напряжений ( $\sigma_y$ ), действующих в породном массиве при нарушении его естественного состояния проведением выработки. Поэтому в дальнейшем внимание будет сосредоточено именно на анализе данной компоненты тензора напряжений. Наибольший интерес с точки зрения охраны штрека представляют напряжения в районе сопряжения штрека с лавой, то есть напряжения в сечениях, находящихся в непосредственной близости от борта штрека. Однако с точки зрения охраны базисных выработок – монтажных и демонтажных камер – интерес представляет общая картина фронта опорного давления, идущего впереди лавы, то есть распределение напряжений по всей длине лавы. Кроме того, для оценки общей картины развития опорного давления интересен характер затухания концентрации напряжений по мере удаления вверх (вниз) от пласта в породы кровли (почвы). На рис. 2 показано распределение вертикальных напряжений в сечении, перпендикулярном плоскости забоя, и находящемся на расстоянии 1 м от борта штрека, т.е. в сечении  $v(1)$ .

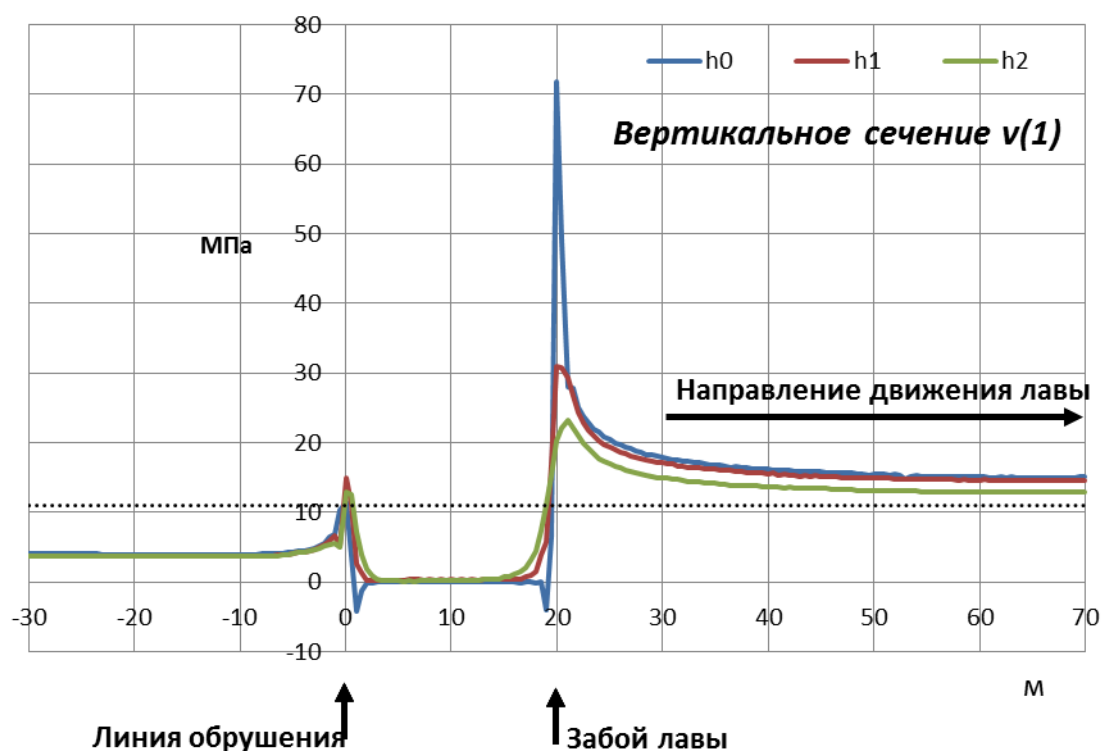


Рис. 2. Эпюры вертикальных напряжений для сечения  $v(1)$  в разных горизонтальных плоскостях ( $h_0$  - на кромке угольного пласта,  $h_1$  – на расстоянии 1 м от пласта,  $h_2$  – на расстоянии 2 м от пласта)

Анализ показывает, что наибольшие вертикальные напряжения  $\sigma_y$  имеют место на кромке пласта, достигая в данном сечении величины  $\approx 6,3\gamma H$  непосредственно на линии очистного забоя. Такое распределение напряжений характерно для решения задачи в упругой постановке. В дальнейшем при интерпретации результатов моделирования упругое распределение напряжений будет скорректировано с учетом возможной реализации пластических деформаций, вследствие которых пик напряжений отодвинется вглубь массива.

Зона повышенных вертикальных напряжений (повышенного давления) в данном сечении простирается вглубь массива до конца границы области. Однако напряжения резко затухают по мере удаления от забоя. Уже на расстоянии 10 м от забоя они не превышают  $1,4\gamma H$ , на расстоянии 40 м снижаются до  $1,25\gamma H$  и далее сохраняют это значение до границы исследуе-

мой области, то есть в данном сечении (на расстоянии 1 м от борта штрека) повышенный фон напряжений сохраняется на расстоянии более 70 м от очистного забоя, что обусловлено влиянием подготовительной выработки. Поскольку величина концентрации напряжений на расстоянии 40-45 м от забоя не превышает начальное напряжение более чем на 25%, можно считать, что в данном сечении длина ЗОД составляет 40-45 м, что совпадает с расчетами по нормативным документам. Тем не менее, учет повышенной концентрации напряжения вдоль всего борта штрека следует принимать во внимание при разработке мероприятий по охране подготовительных выработок.

В сечении области, расположенном на расстоянии 2 м от борта штрека (сечение  $v(2)$ ) распределение напряжений сохраняет тот же характер с той лишь разницей, что уже на расстоянии 20 м от забоя они не превышают  $1,1\gamma H$ .

В сечении области, расположенном на расстоянии 25 м от борта штрека (сечение  $v(25)$ ) качественная картина не меняется, однако пики вертикальных напряжений (максимальные значения) на линии забоя возросли до  $8,7\gamma H$  на уровне кровли пласта, что почти на 30% больше по сравнению с сечениями вблизи сопряжения. Затухание напряжений по мере удаления вглубь массива впереди забоя происходит более интенсивно по сравнению с сечением вблизи штрека. Так при удалении на 10 метров от забоя напряжения составляют  $1,3\gamma H$ , на 20 метров – менее  $1,1\gamma H$ , а при удалении на 30 метров становятся равными исходному давлению  $\gamma H$ .

Аналогичная картина распределения напряжений имеет место в сечении, расположенном на расстоянии 45 м от борта штрека (сечение  $v(45)$ ). Однако пики вертикальных напряжений на линии забоя больше, чем в сечении  $v(25)$  и достигают  $9,5\gamma H$  на комке пласта (на  $\approx 44\%$  больше по сравнению с сечениями вблизи сопряжения).

Таким образом, распределение вертикальных напряжений в различных сечениях породного массива, перпендикулярных плоскости забоя, имеет качественно подобный характер, однако количественные характеристики этого распределения различны и зависят от положения сечения относительно плоскости забоя, оси штрека, плоскости угольного пласта. Наибольшее влияние на характер распределения напряжений и величину их концентрации оказывает сопряжение выработанного пространства лавы и подготовительной выработки. По мере удаления от борта штрека напряжения в сечениях  $v(1)$ ,  $v(2)$ ,  $v(25)$ ,  $v(45)$ , то есть на расстоянии соответственно 1, 2, 25 и 45 метров от борта штрека в сторону лавы меняется и максимальное значение напряжения и то расстояние от забоя, на котором происходит затухание напряжений до уровня начального поля. Именно это расстояние и есть длина зоны опорного давления.

Выше указывалось, что решение в упругой постановке необходимо скорректировать с учетом возможности перехода пород в пластическое состояние. Полученное распределение напряжений в пространственной области позволяет ввести поправочный коэффициент (коэффициент пригрузки) в решение плоской задачи для учета пространственного эффекта. Такой подход реализован в работе [6]. Соответствующие расчеты для плоской задачи выполнены в упруго-пластической постановке с учетом перехода в запредельную фазу деформирования.

На рис. 3-4 показано распространение зоны опорного давления на расстояниях 1 м и 25 м от борта выработки, а на рис. 5 – зависимость длины этой зоны ( $l$ ) от положения рассматриваемого сечения, то есть в зависимости от величины  $d_{ш}$  – расстояния рассматриваемого сечения до борта штрека

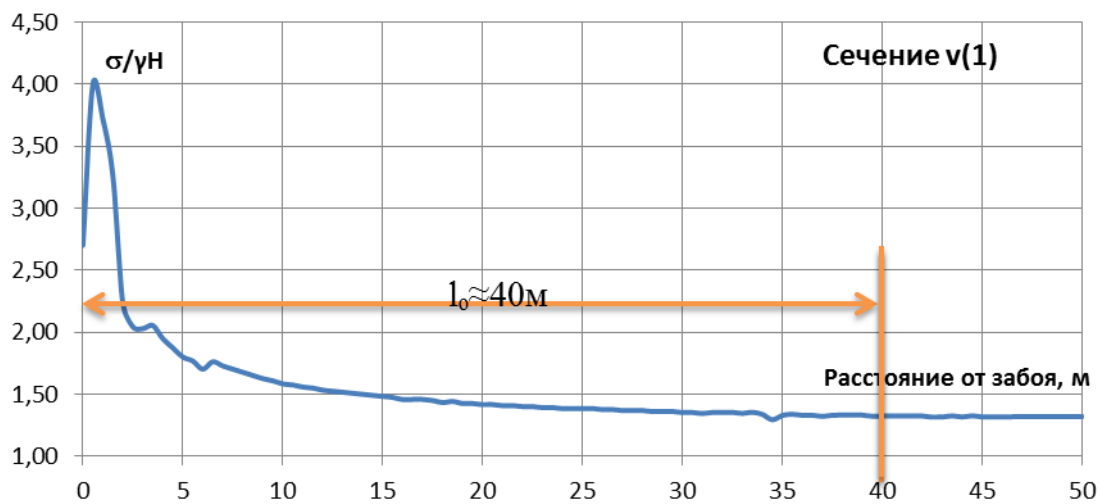


Рис. 4. Распространение зоны опорного давления в сечении v(1)

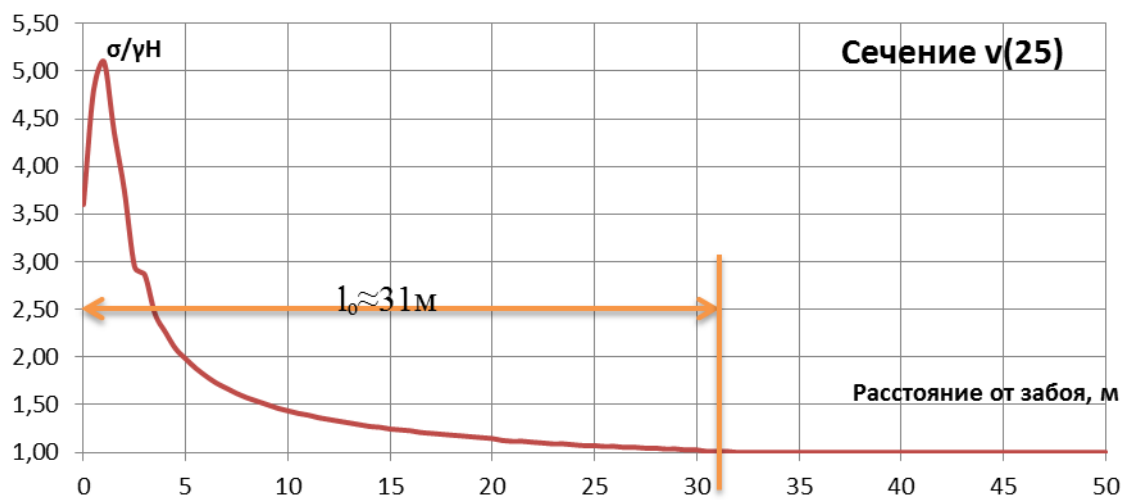


Рис. 4. Распространение зоны опорного давления в сечении v(25)

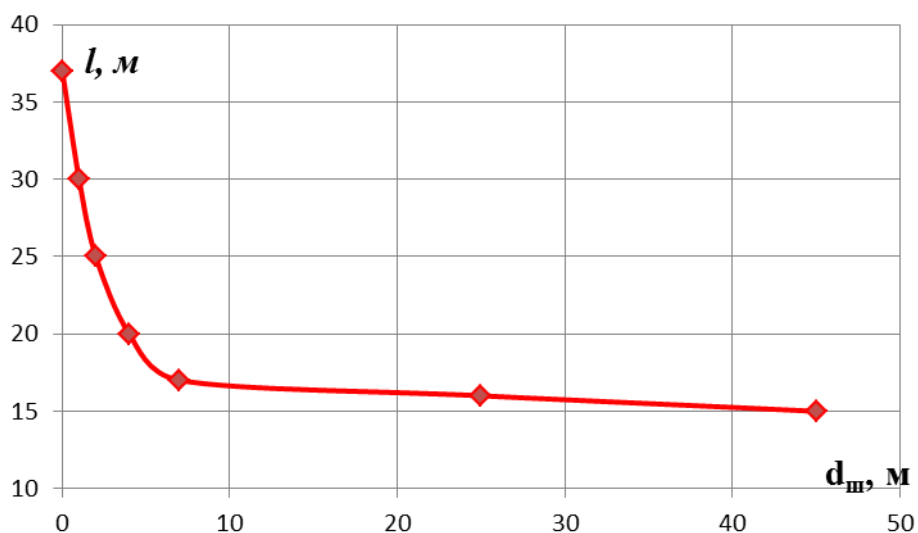


Рис. 5. Распространение зоны опорного давления на различных расстояниях от борта выработки

Из графика видно, что длина зоны опорного давления имеет наибольшее значение вблизи сопряжения лавы с штреком и уменьшается по мере удаления от него. В середине лавы

длина ЗОД имеет наименьшее значение. Однако здесь же имеет место наибольшая концентрация напряжений. В целом горное давление впереди забоя лавы распределено неравномерно. Область повышенного давления имеет в плане дугообразную форму с вершиной в середине лавы, где имеют место наибольшие напряжения сжатия. Такое распределение напряжений следует учесть при подходе лавы к демонтажной камере, заранее проведенной вне зоны очистных работ.

### Выводы

1. На основе численного моделирования получена картина распределения напряжений в пространственной области породного массива, включающая очистную выработку струговой лавы и подготовительные выработки.
2. Длина зоны опережающего давления впереди забоя струговой лавы изменяется в зависимости от расстояния до борта штрека, достигая максимального значения вблизи сопряжения с подготовительной выработкой и уменьшаясь по мере удаления от борта штрек в сторону срединного сечения лавы.
3. Результаты численного моделирования пространственной области, включающей породный массив, струговую лаву и примыкающую к ней подготовительную выработку, коррелируют с результатами расчета по требованиям нормативной документации с достаточной степенью достоверности, однако расширяют возможности прогноза длины ЗОД в различных сечениях лавы, что имеет большое значение при разработке мероприятий по охране демонтажной камеры, попадающей в зону влияния опережающего горного давления.

### Список литературы

1. СОУ 10.1.00185790.011:2007 / Мін-во вугільної промисловості України; ДонВУГІ, УкрНДІпроект. – К.: Мінвуглепром України, 2007. – 116 с.
2. ТМП 10.1.00185790.002:2010 «Сопряжения очистных забоев с подготовительными выработками, закрепленных рамной, анкерной и рамно-анкерными креплениями. Типовые схемы поддержания», Донецк: Фонды ГП Донуги, 2010. -88 с.
3. Дрибан В.А., Колдунов И.А., Побойный С.А. Оценка параметров деформирования околоствольного массива при проведении сопрягающихся выработок // Уголь Украины. – 2008. – № 11. – С. 10-12.
4. Круковский А.П. Изменение напряженного состояния горных пород вокруг выработки с движущимся забоем/ А.П. Круковский, В.В. Круковская // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників- 2009». – Д.: Національний гірничий університет, 2009. – С. 73-78.
5. Бабиюк Г.В. Управление надежностью горных выработок.-Донецк:ТОВ» Світ книги».-2012.-418 с.
6. Метод граничных элементов в задачах горной геомеханики / Новикова Л.В, Пономаренко П.И., Приходько В.В., Морозов И.Т. – Днепропетровск: изд-во Наука и образование, 1997. – 180 с.