

*Сиидов В.Н.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ОСОБЕННОСТИ КОНТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ УПЛОТНЕННЫХ ПОРОД ВОКРУГ СООРУЖЕННОЙ В ВЫРАБОТАННОМ ПРОСТРАНСТВЕ ВЫРАБОТКИ

Наведені результати математичного моделювання напружено-деформованого стану зруйнованих і ущільнених у виробленому просторі порід з урахуванням особливостей їх міцностних властивостей і контурних зсувів спорудженої в ньому підготовчої виробки. Прогнозовані величини цих зсувів близькі із шахтними інструментальними спостереженнями.

Ключові слова: моделювання, виробка, вироблений простір, зсуви, стійкість.

Приведены результаты математического моделирования напряженно-деформированного состояния разрушенных и уплотненных в выработанном пространстве пород с учетом особенностей их прочностных свойств и контурных смещений сооруженной в нем подготавливающей выработки. Прогнозируемые величины этих смещений близки с шахтными инструментальными наблюдениями.

Ключевые слова: моделирование, выработка, выработанное пространство, смещения, устойчивость.

При разработке угольных пластов глубокими (более 800 м) шахтами Донбасса с учетом наметившейся тенденции увеличения длины комплексно-механизированных лав и выемочных столбов сохраняется проблема продолжительного сохранения выработок в удовлетворительном состоянии. Как показывает опыт эксплуатации и результаты наблюдений наиболее эффективным с точки зрения обеспечения устойчивости пластовых подготавливающих выработок является их сооружение и поддержание в зоне полной разгрузки от исходных повышенных напряжений, какой является выработанное пространство [1-4].

Однако в нормативном отраслевом документе [5] отсутствуют конкретные рекомендации по применению вышеуказанного способа с учетом особенностей формирования нагрузки на крепь этих выработок и обеспечения их устойчивости в различных условиях.

Результаты ранее проведенных исследований по установлению особенностей распределения напряжений по контуру обнажения уплотненных в выработанном пространстве пород [6, 7] не рассматривает весь спектр механизма взаимодействия с крепью и ограничиваются в основном теоретическими подходами к решению рассматриваемого вопроса, опираясь на исходные условия Донецко-Макеевского геологического района, характеризующихся залеганием средней и ниже степени катагенеза пород (марки угля Д, Г), по свойствам близкие после разрушения к слеживанию под воздействием опускающейся толщи подрабатываемого массива.

На основании вышеизложенного возникает необходимость решения актуального вопроса обеспечения устойчивости выработок, сооружаемых в обрушенных и уплотненных несслеживаемых породах выработанного пространства при отработке пластов антрацита глубокими шахтами Восточного региона Украинского Донбасса.

Цель исследований – на базе математического моделирования и натурных наблюдений установить особенности взаимодействия обнажаемых в выработанном пространстве уплотненных пород с крепью, формируемой в нем выработки. Исходя из этого, сформулированы следующие основные задачи:

- разработать и апробировать математическую модель для определения НДС и контурных смещений пород вокруг сформированной в выработанном пространстве выработки с учетом особенностей прочностных свойств уплотненного геоматериала;

- установить в натурных условиях характер и параметры изменения во времени обнажаемого выработкой контура;

- разработать рекомендации по обеспечению устойчивости выработок, проводимых в выработанном пространстве.

При обнажении лавой массива с характерными генетическими структурно-прочностными свойствами под влиянием процесса сдвижения происходят зональные изменения НДС слагающих его пород, которые подвергаются различной степени хрупкому разрушению с последующим обрушением более слабых ее нижних слоев. Интегральным показателем степени разрушения пород является коэффициент их естественного разрыхления. Под влиянием сближения в выработанном пространстве кровли и почвы, сопровождаемого переупаковкой и вторичными разрушениями их кусковато-блочных отдельностей, происходит уплотнение слагающих их пород до некоторой остаточной пустотности. В результате этого естественного горно-геомеханического преобразования массива в зоне формируемой выработки образуются ее дискретно-несвязные породные слои, отличающиеся с удалением от почвы пласта совершенно другими деформационно-прочностными свойствами по

сравнению с фоновыми в нетронутом массиве. Градиентность напряженного состояния и величины смещений структурированной таким образом толщи массива значительно выше, чем в сплошном.

Как подтверждают ранее проведенные исследования и опыт вокруг пройденных в слоях уплотненных пород выработанного пространства выработок, образуется некая уравновешенная грузонесущая оболочка, состоящая из взаимодействующих породных отдельностей, обеспечивающих за счет сопротивления их перемещению саморасклинивания. Интенсивность смещения контура выработки зависит от остаточной пустотности (коэффициента уплотнения) обломочной массы, формы и размеров блоков литотипов, с учетом их соотношения в рассматриваемом объеме, а также реакции крепи и продолжительности поддержания выработки. Помимо указанного существенное влияние на равновесное состояние контура обнаженных уплотненных пород оказывает также плотность систем природной трещиноватости пород и ориентация сечения выработки относительно их плоскостей распространения.

В качестве объекта исследований из выработок антрацитовых шахт выбран наиболее представительный, вентиляционный уклон № 3, проводимый по выработанному пространству пласта h_7 шахты им. Дзержинского (с 2012 г. ООО ДТЭК "Ровенькиантрацит" (рис. 1)). Уклон № 3 в 2001 г. первоначально проведен длиной 197 м по выработанному пространству лавы № 1 после прохода места его заложения через 21 мес.; затем – 265 м – № 3 – в 2006 г. через 3 мес. После прохода лавы № 9 начато проведение этого уклона в 2011 г. длиной 210 м. Намечено также проведение уклона по выработанному пространству лав № 5 и 7 с диагональным его расположением относительно линии падения пласта, а в перспективе предусматривается уклон лавы № 9 диагонально сбивать на уровне конвейерного штрека лавы № 3 (см. рис. 1, а). Глубина расположения уклона изменяется от 560 м до 930 м. В пределах такого широкого по времени диапазона наблюдений изменений состояния выработки в формировании технологических условий на различной глубине их заложения, представляется возможным, используя в том числе и лабораторные испытания деформационно-прочностных характеристик разрушенных пород [9], получить совокупные результаты моделирования и натурных исследований.

По данным фотопланиметрических измерений кусковатости и блочности уплотненных пород в пределах высоты слоя обрушенной кровли по антрацитовым пластам, в том числе и h_7 , установлена закономерность – с удалением от пласта плотность распространения техногенной трещинной раздробленности уплотненных пород уменьшается.

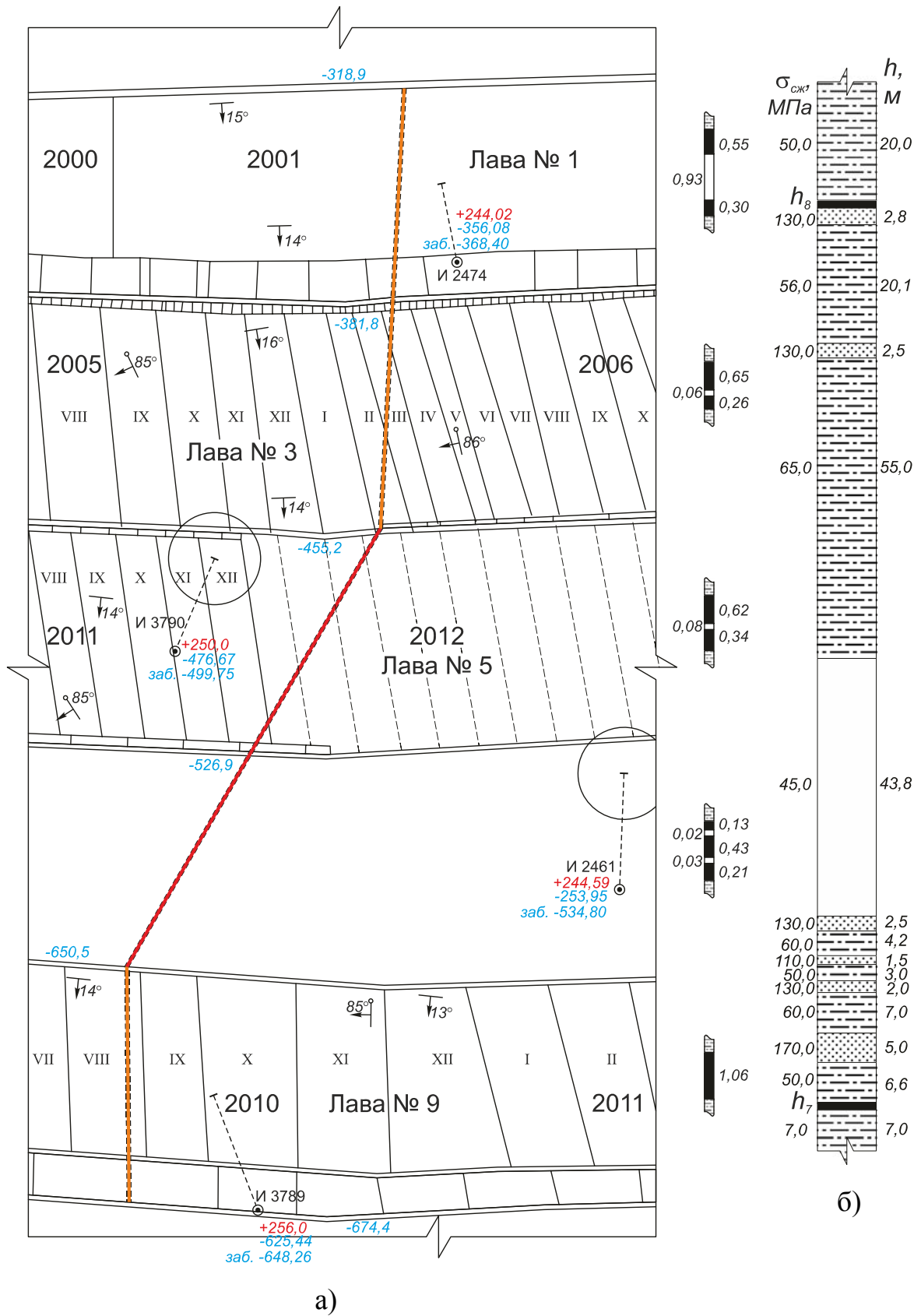
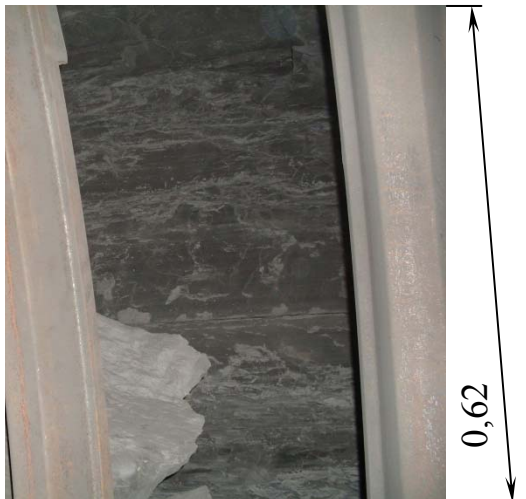


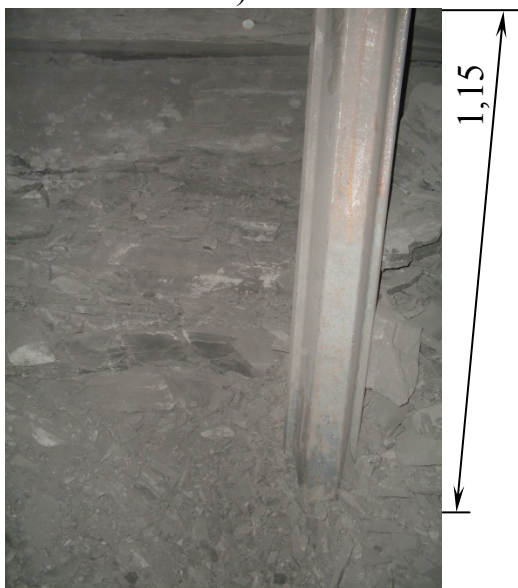
Рисунок 1 – Выкопировка с плана горных выработок по пласту h_7 (а) и структура вмещающих его пород (б)



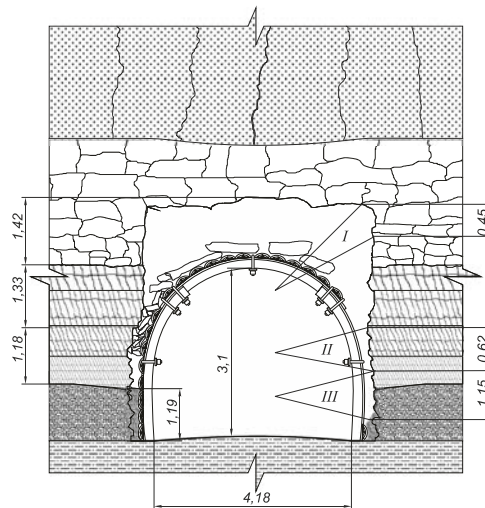
а)



б)



в)



г)

Рисунок 2 – Распространение техногенных трещин уплотненных пород по площади боковых стенок их обнажения на удалениях от почвы в интервалах I, II и III соответствующий фотофрагментам а, б и в; г – общая зарисовка распространения трещин вокруг выработки

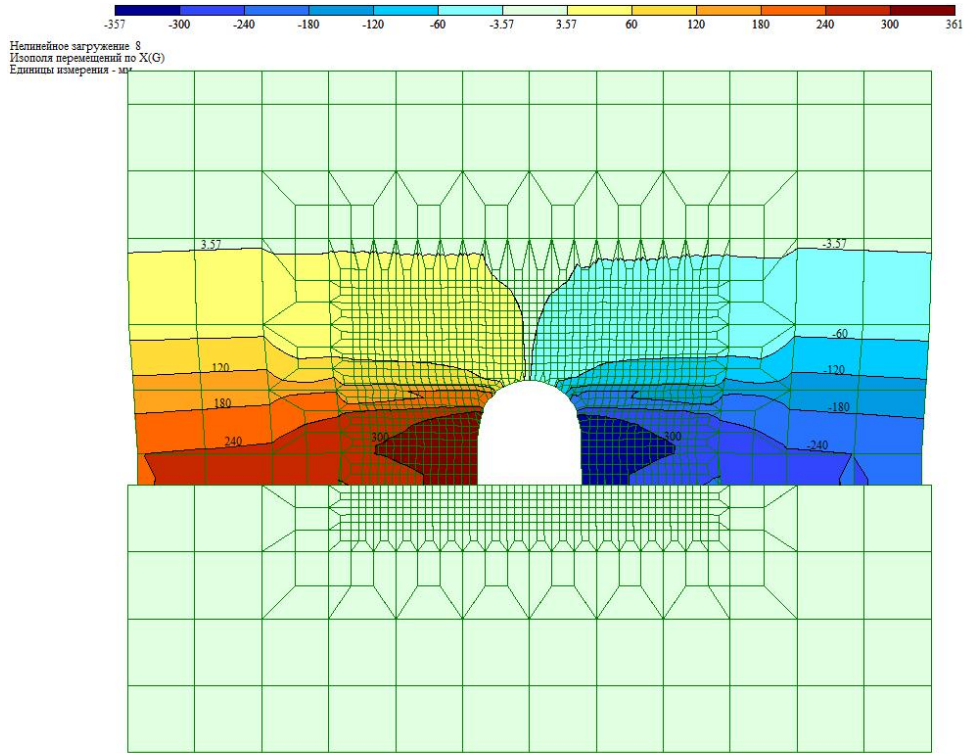
Наиболее мелкодробленные породы располагаются в сопряженном с почвой слое, величина которого по высоте кратна 0,7...0,9 мощности вынимаемого пласта, что учитывалось при составлении модели НДС обломочной массы вокруг рассматриваемой выработки.

На рисунке 2 представлены фотофрагменты и схематическое изображение распространения техногенных трещин в обрушенном и уплотненном массиве обнаженных при проведении вентиляционного уклона № 3. Измерениями установлено, что на уровне ранее отработанного пласта расположен слой мелкодробленных пород высотой в среднем равной 1,19 м (рис. 2, в). Над ним расположены слои различной степени упорядоченного разрушения пород (рис. 2, б): первый – высотой 1,18 м, второй – 1,33 м. Выше залегает слой крупно-блочного разрушения, распространяющийся до вышележащего слоя песчаника на расстоянии 6,6 м от пласта (см. рис. 1).

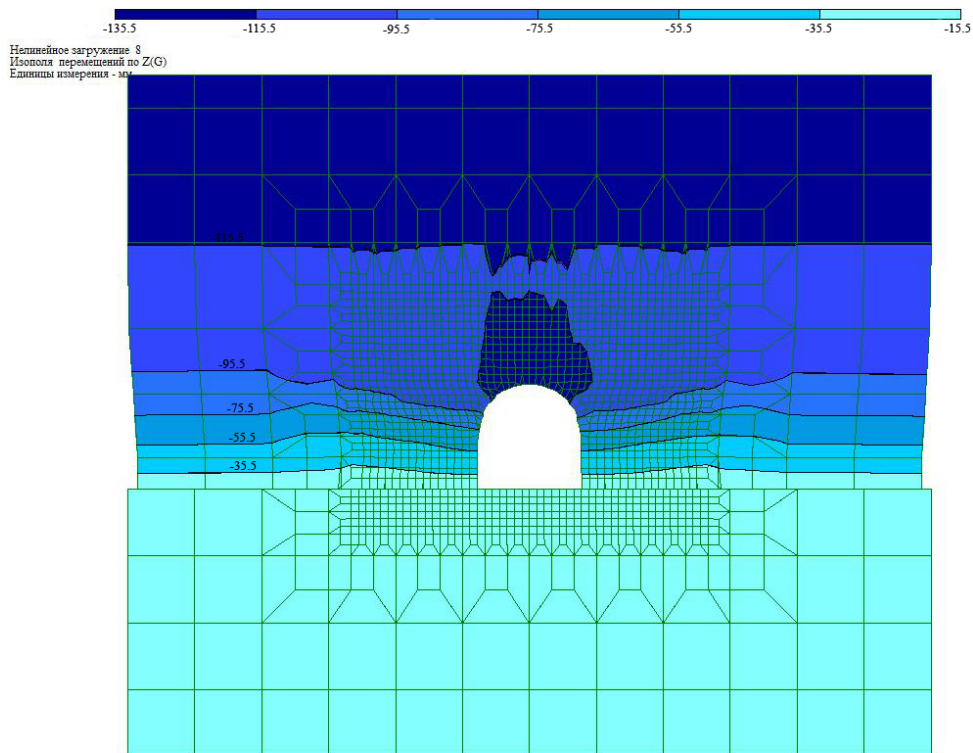
Для исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) уплотненных пород вокруг проводимой в них выработки, в программном комплексе «Ли́ра» разработана расчетная схема с применением объемных конечных элементов № 236, расположенных по толщине в один слой. Горизонтальный (918 м) и вертикальный (1780 м) размеры модели определены исходя из параметров зоны влияния исследуемой области. Для снижения расчетной нагрузки геометрические размеры конечных элементов изменялись от 54 м до 0,215 м в исследуемой области.

Для установления контурных смещений уплотненных пород и их напряженного состояния вокруг проведенной выработки выполнялось условие отсутствия влияния краевых частей массива в зонах его перехода из выработанного пространства в нетронутое. Расчеты моделей производились с применением пошагового метода [8]. Для определения размеров зоны разрушенных пород на первом шаге рассчитывалась модель, имитирующая выемку угля одиночной лавой, на следующем – разрушенным элементам назначены упруго-прочностные свойства, эквивалентные разрушенным породам. При этом они корректировались послойно с удалением от почвы отработанного пласта и учетом изменения степени их разрушения (см. рис. 2).

Решение модели на всех этапах выполнялся в нелинейной постановке с использованием режима монтаж. На основании выполненных расчетов получены качественные картины горизонтальных и вертикальных перемещений и напряжений уплотненного массива, (рис. 3 и 4). Как видно из рисунка 3, изополя горизонтальных перемещений формируются в боках выработки с максимальными значениями (387 мм) на уровне мелкодробленого слоя (см. рис. 2)



а)



б)

Рисунок 3 – Изополя распределений соответственно горизонтальных (а) и вертикальных (б) перемещений

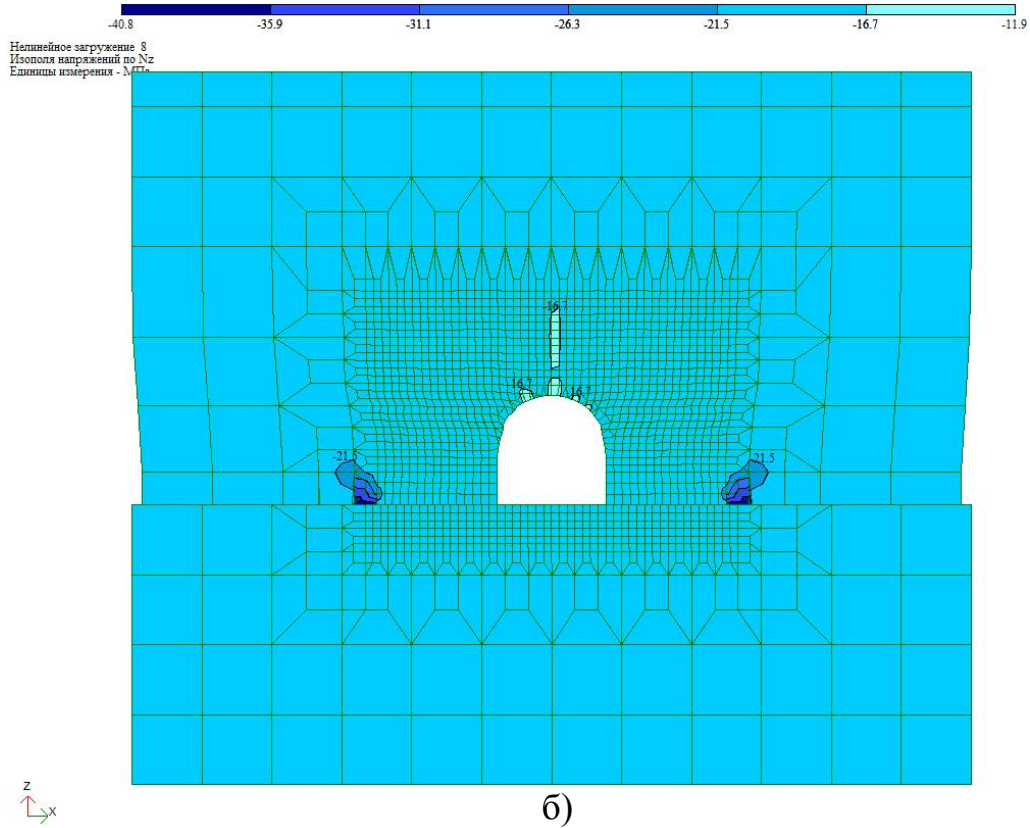
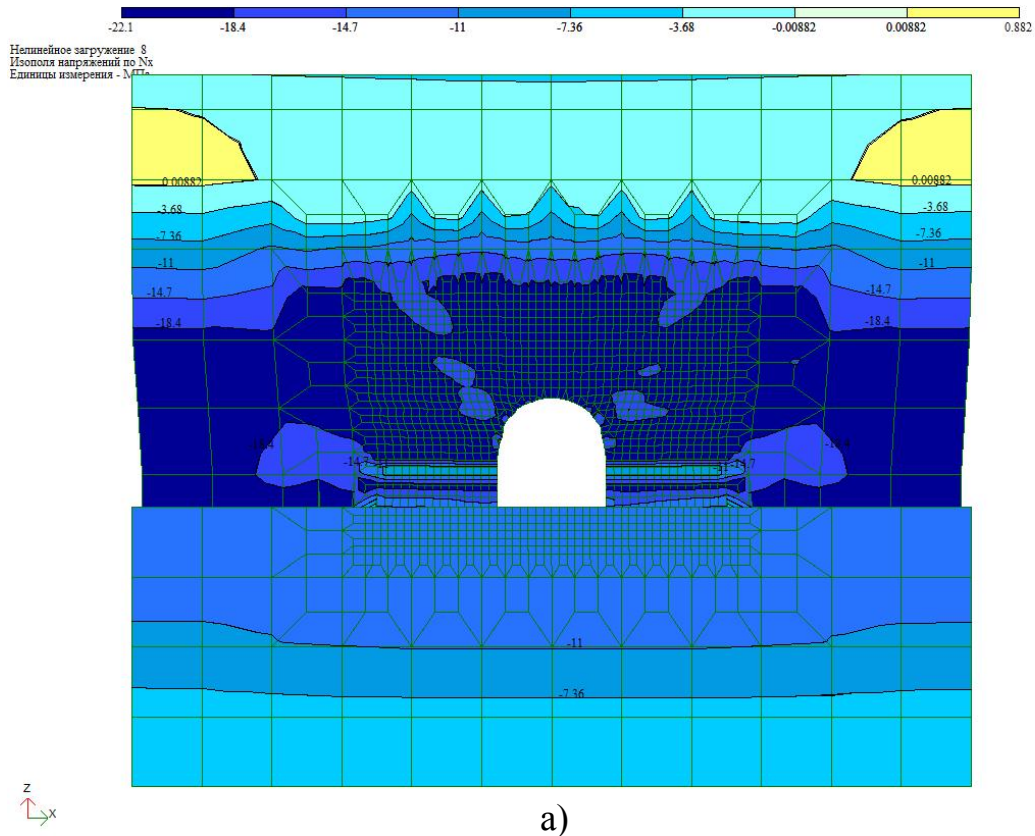


Рисунок 4 – Изополя распределений соответственно горизонтальных (а) и вертикальных (б) напряжений

и постепенно снижаются на высоте 6...7 м. При этом максимальные вертикальные перемещения составляют 135 мм, изополя которых распространяются параллельно напластованию.

При анализе напряжений следует, что вокруг выработки вертикальные напряжения распространены равномерно с максимальными значениями 16,5...21,5 МПа (рис. 4, б). Незначительное снижение их величин наблюдается в кровле выработки. Изополя горизонтальных напряжений с максимальными значениями 18,4...22,1 МПа (рис. 4, а) распространяются от почвы пласта на высоту 6...8 м и замыкаются над выработкой. В боках выработки на уровне мелкодробленого слоя наблюдается снижение напряжений на расстояние 4...6 м вглубь массива.

В результате обработки полученных данных моделирования построен профиль смещения обнаженного выработкой породного контура, представленный на рисунке 5, из которого видно, что преобладающие боковые смещения контура при удалении от подошвы выработки постепенно снижаются.

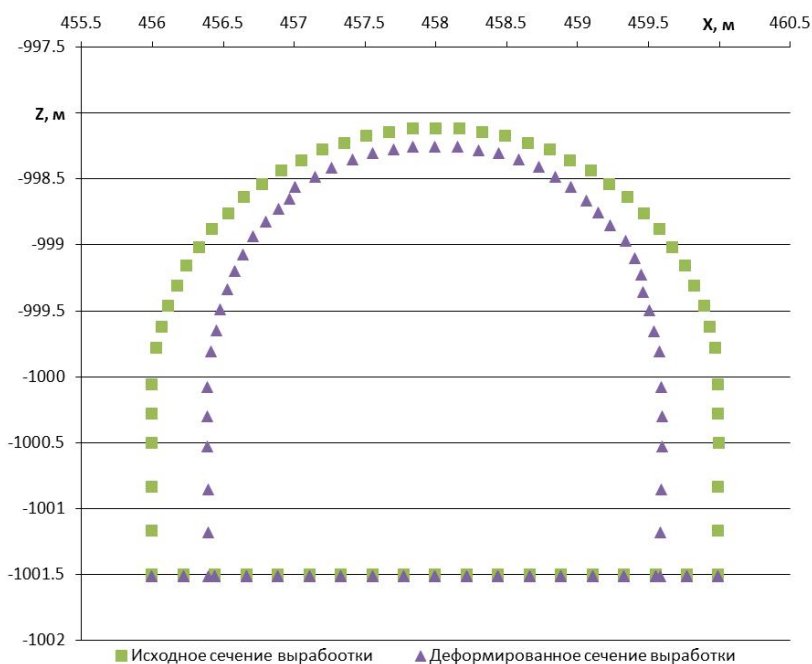
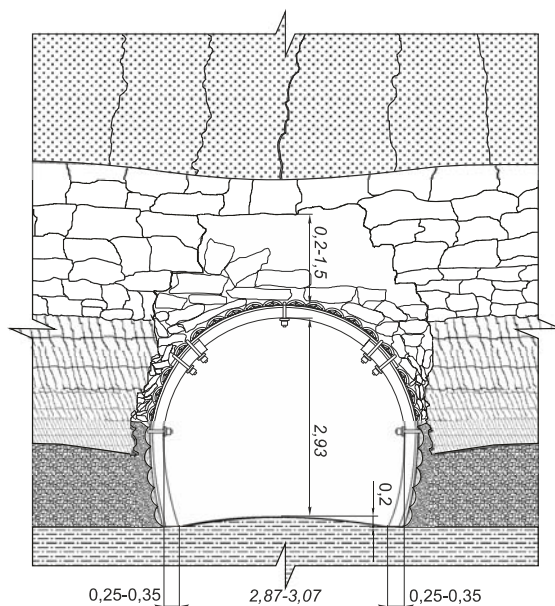


Рисунок 5 – Изменения обнаженного выработкой породного контура после ее сооружения (X и Z – координаты узлов выработки в модели)

При преобладающих горизонтальных напряжениях в кровле, отсутствии горизонтальных перемещений и незначительных вертикальных перемещениях разрушенных пород проявляется эффект торможения за счет их саморасклинивания блокообразующих фракций. Тем самым создаются предпосылки для снижения потери сечения выработки.



а)



б)



в)

Рисунок 6 – Состояние уклона № 3, сооруженного в выработанном пространстве лавы № 1 через 1,75 года: **а** – фотофрагмент общего вида; **б** – схематическая зарисовка уклона в поперечном сечении; **в** – типичные разрывы металлических планок в замковых соединениях арочной крепи (размеры в метрах)

Полученные результаты математического моделирования не противоречат натурным наблюдениям смещений уплотненных пород в вентиляционном уклоне № 3 на участке лавы № 1. В этой выработке на уровне мелкодробленого слоя преобладают горизонтальные смещения, которые приводят к повышенным боковым смещениям стоек арочной крепи и частичным разрывам элементов их замковых соединений (рис. 6).

При сооружении выработки в выработанном пространстве до окончания процесса сдвижения массива при уплотнении пород наблюдаются более интенсивные проявления горного давления. Так в аналогичных уклонах (см. рис. 1) их проведение было начато через 3 мес. после прохода лавы № 9. Это привело в отдельных местах к выдавливанию пород подошвы с образованием характерного гребня ее разлома (рис. 7, а), а также разрыву соединительных элементов крепи и потере сечения выработки (рис. 7, б). По истечению 4 месяцев на более глубоком участке выемки пласта лавой № 9 произведено частичное перекрепление выработки.



а)



б)

Рисунок 7 – Состояние уклона № 3, сооруженного в выработанном пространстве лав № 3 и № 9 через 3 месяца: а и б – гребень поднятия почвы с ее разломом (лава № 3) и разрыва замкового соединения стойки и верхняка арочной крепи (лава № 9)

Проведенные исследования позволили выявить особенности взаимодействия крепи выработок, сооруженных в выработанном пространстве, со смещающимися уплотненными породами подработанного углепородного массива. Проводить эти выработки необходимо после затухания процесса сдвижения массива на контакте с почвой по высоте ранее обрушенных слоев кровли. При их сооружении в зоне активного оседания массива приводит к выдавливанию почвы с ее разломом, а также повышенному сближению оснований стоек. Это в последствии требует поддирки выдавленных пород и замены деформированных крепежных рам.

Выводы.

На основании математического моделирования и натуральных измерений установлено, что в выработках проведенных в выработанном пространстве, после окончания процесса сдвижения и уплотнения подработанного породного массива преобладающими являются боковые смещения. При их проведении до окончания периода смещений следует ожидать выдавливание почвы и потерю сечения, что может привести к частичному или полному ремонту.

Результаты математического моделирования согласуются с натурными измерениями смещений в вентиляционном уклоне № 3. Максимальные боковые смещения составили по натурным замерам 350 мм, результатам моделирования – 387 мм, расхождение в 10 % указывает на удовлетворительную их сходимость.

При расположении выработки в выработанном пространстве ее устойчивости способствует эффект саморасклинивания уплотненных пород, формируемый взаимным самоторможением образованных их кусковато-блочных отдельностей.

Полученные результаты исследований рекомендуется использовать при проектировании поддержания выработок, расположенных в обрушенных и уплотненных породах выработанного пространства.

Библиографический список

1. Зборщик М.П. *Охрана выработок глубоких шахт в выработанном пространстве* / М.П. Зборщик. – К.: Техніка, 1978. – 176 с.
2. Грядущий Ю.Б. *Повышение устойчивости подготавливающих выработок в обрушениях и уплотненных породах зон разгрузки* / Ю.Б. Грядущий, Л.В. Трунов, М.П. Зборщик, В.В. Назимко // Уголь Украины. – 1991. – № 1. – С. 13-15.
3. Борзых А.Ф. *Опыт отработки панели лавами в восходящем порядке* / А.Ф. Борзых, В.Н. Сиидов, С.П. Офицеров // Уголь Украины. – 2008. – № 5. – С. 7-10.
4. Сиидов В.Н. *Влияние ПГД на устойчивость проводимой в выработанном пространстве выработки* / В.Н. Сиидов, В.Н. Григоряк // Уголь Украины. – 2009. – № 7. – С. 10-12.
5. *Технологические схемы разработки пологих пластов на шахтах Украины*. КД 12.01.201 – 98. – Донецк: ДонУГИ, 1998.
6. *Особенности сдвижения пород в окрестности выработок, поддерживаемых в обрушенной и уплотненной толще в зоне влияния очистных работ* / М.П. Зборщик, В.И. Пилюгин, В.А. Новицкий, С.В. Таранченко // Разработка месторождений полезных ископаемых. Межвед. сб. – 1990. – Вып. 87. – С. 40-46.

7. Зборщик М.П. Свойства пород зон разгрузки / М.П. Зборщик, В.В. Назимко // Разработка месторождений полезных ископаемых. Межвед. сб. – 1991. – Вып. 90. – С. 28-36.

8. Борzych А.Ф. Использование пошагового метода математического моделирования Напряженно-деформированного состояния разрушенного в выработанном пространстве породугольного массива / А.Ф. Борzych, В.С. Пупков, В.Н. Сиидов // Проблеми гірського тиску. Збірник наукових праць. – 2010. – Вып. 18. – С. 57-72.

9. Сиидов В.Н. Модуль деформации и коэффициент бокового распора разрушенных горных пород / В.Н. Сиидов, В.С. Пупков // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. – 2011. – Вып. 34. – С. 81-88.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Борzychом А.Ф.