

УДК 622.261.27

А.Б. Олексюк,
С.Н. Гапеев, канд. техн. наук, доц.,
А.О. Логунова

Государственное высшее учебное заведение
„Национальный горный университет“, г. Днепропетровск,
Украина, e-mail: Gapicievs@nmu.org.ua

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО МЕСТА ЗАЛОЖЕНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННОЙ МАГИСТРАЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЧИСЛЕННЫХ МОДЕЛЕЙ

A.B. Oleksyuk,
S.N. Gapeyev, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,
A.O. Logunova,

State Higher Educational Institution, "National Mining University",
Dnipropetrovsk, Ukraine,
e-mail: Gapicievs@nmu.org.ua

DETERMINATION OF THE RATIONAL PLACE FOR LAYING THE VENT LINE USING NUMERICAL MODELS

Представлены результаты численного решения задачи о напряженно-деформируемом состоянии (НДС) приконтурного массива в окрестности центральной вентиляционной магистрали шахты „Им. В.М.Бажанова“. Установлено, что наиболее благоприятные условия, при которых радиус области неупругих деформаций наименьший из рассмотренных положений выработки, – при положении выработки в породах почвы пласта на расстоянии 7,0 м от ее уровня.

Ключевые слова: приконтурный массив, наклонная выработка, численная задача, напряженно-деформируемое состояние, зона неупругих деформаций

Постановка задачи. Уголь в Украине является одним из немногих энергоносителей, запасы которого имеются в достаточном количестве. Горно-геологические условия залегания угольных пластов являются сложными, глубина их разработки нередко превышает 1000 м. Добыча газонасыщенных пластов угля сопровождается повышением температуры породного массива и такими проявлениями горного давления как пучение пород почвы выработок, внезапные выбросы угля, породы, газа, вывалообразование. Все это предопределяет применение специфических систем разработки, усиленное проветривание горных выработок, соблюдение необходимых, в соответствии с Правилами безопасности, поперечных сечений вентиляционных и транспортных магистралей. Перечисленные мероприятия требуют определенных, часто немалых, затрат, которые в итоге увеличивают себестоимость добываемого угля и снижают его конкурентоспособность по отношению к другим энергоносителям.

Назначением капитальных наклонных выработок является обслуживание горных работ, доставка материалов, транспортирование отбитой породы и добытого угля на горизонт откатки, транспортирование людей, вентиляция. Такая выработка связана на своем протяжении с целым рядом участков выработок посредством сопряжений, которые сами по себе являются сложными объектами с точки зрения их поддержания и обеспечения долговременной устойчивости.

Применительно к задачам, стоящим в данной работе, наиболее эффективным является метод конечных элементов (МКЭ), поскольку он позволяет легко моделировать самые различные неоднородности среды: слоистость, трещиноватость, анизотропию

свойств пород, явления фильтрации. Разработаны специальные приемы для моделирования взаимодействия крепи выработки с окружающим массивом, что позволяет рассматривать уже подкрепленную полость, т.е. состояние геомеханической системы „массив-выработка-система крепления“. Вырезы любой сложности в полуплоскости, а также конечное их число не являются препятствием к применению метода. Моделирование обрушенных пород также легко осуществимо в рамках метода.

Идея решаемой геомеханической задачи состоит в следующем. Центральная вентиляционная магистраль пласта m_3 является главной магистралью, обеспечивающей проветривание лав и выработок на уклонном поле ниже откаточного горизонта 1100 м. Ее устойчивость имеет большое значение как для выполняемых технологических операций на горизонте, так и для обеспечения соответствующего пылегазового режима, в том числе, что немаловажно, и для подготовки лав уклонного поля. Углеродный массив, в котором сооружается выработка, существенно неоднороден по прочности и мощности залегающих слоев. Это углистый, глинистый, песчаный сланцы, очень крепкие известняк и песчаник. Физико-механические свойства основных вмещающих пород приведены в таблице. Ввиду того, что жесткость слоев пород значительно отлична друг от друга, ставится задача найти такое место расположения Центральной вентиляционной магистрали (ЦВМ), при котором ее устойчивость была бы максимальной.

Как показывает практика, зачастую, расположение выработки в таких условиях является достаточным условием для обеспечения ее долговременного эксплуатационного состояния.

Таблиця

Физико-механические свойства горных пород

Наименование пород	Предел прочности на одноосное сжатие $R_{сж}$, МПа	Предел прочности на одноосное растяжение R_p , МПа	Объемная масса γ , т./м ³	Модуль Упругости E , МПа	Коэффициент Пуассона
Песчаник	55,0	5,5	2,5	$1,8 \times 10^5$	0,22
Глинистый сланец	24,0	2,4	2,3	$1,3 \times 10^4$	0,30
Песчанистый сланец	40,0	4,0	2,4	$1,3 \times 10^5$	0,25
Известняк	60,0	6,0	2,5	$2,8 \times 10^5$	0,20
Углистый сланец	22,0	2,2	2,0	$7,2 \times 10^3$	0,33
Уголь	20,0	2,0	1,8	$6,4 \times 10^3$	0,35

Вместе с тем, как свидетельствуют натурные наблюдения за состоянием ЦВУ и ЦВМ пласта m_3 шахты „им. В.М. Бажанова“, такая технология заложения выработки хотя и часто, но далеко не всегда является достаточным условием ее устойчивости.

Ожидаемый эффект сохранения выработки при расположении ее в зоне разгрузки достигается за счет снижения интенсивности геомеханических процессов в приконтурном породном массиве, а также за счет снижения величины нагрузки на ее крепь.

После прохода лавы породы кровли (непосредственной и основной) претерпевают разрушение. В процессе разрушения породы непосредственной кровли образуют некоторую зону, которую А.А. Борисов называет зоной интенсивного дробления или интенсивного разрыхления. С породами в этой зоне в последствии происходит уплотнение, а в ряде случаев – слеживание.

Рассматривая общий характер деформирования пород покрывающей толщи после ее подработки, А.А. Борисов разделяет ее на следующие отличающиеся характером обрушения и деформирования пород зоны:

а) зона разрушительного влияния, в пределах которой породы претерпевают интенсивное дробление, пласты пород разрушаются. Высоту этой зоны автор определяет выражением

$$h_p = \eta \frac{h_e - h_c}{k_{cp} - 1}, \quad (1)$$

где $\eta = 2 \dots 3$ – коэффициент запаса;

б) зона разломов, в пределах которой породы претерпевают периодические разломы и перемещаются упорядоченно. В случае больших длин лав эта зона распространяется до самой поверхности;

в) зона изгиба, которая образуется при малой длине лавы над зоной разломов.

Таким образом, если выработка проводится в той части подработанной толщи, которая попадает в зону разрушительного влияния (или, если говорить о породах непосредственной кровли – зону интенсивного

разрыхления), то она проводится в слоях пород, существенно отличающихся по своей структуре от первоначальной.

Задачами для выполнения численных исследований являлись следующие:

1) определение размеров и формы зоны разрушительного влияния для горно-геологических условий 2-й центральной лавы уклонного поля пласта m_3 (разгрузочной), в поле которой в последствии проведена ЦВМ;

2) исследование напряженно-деформированного состояния породного массива в окрестности протяженной выработки (ЦВМ), расположенной в зоне разрушительного влияния на разном расстоянии от уровня почвы угольного пласта;

3) установление местоположения выработки по отношению к почве угольного пласта, при котором ее состояние будет наилучшим, на основе анализа результатов задачи 2.

Исследования, направленные на установление размеров зоны разгрузки, проводились с использованием методики Н.В. Хозяйкиной [1, 2], разработанной для оценки шага обрушения в лавах пологих пластов. Суть методики сводится к следующему.

В произвольной точке исследуемого массива угроз разрушения материала определяется на основе точечного критерия прочности путем сравнения величины эквивалентных напряжений σ_e с пределом прочности на одноосное сжатие R_c , причем значение σ_e определяется по выражению (2). Т.е., точечное условие прочности имеет вид

$$\sigma_e \geq R_c. \quad (2)$$

Область массива, внутри которой выполняется условие (2), считается разрушенной. Однако обрушение пород кровли может произойти только в том случае, если выполняется интегральное условие прочности, определяющее целостность всей системы „выработка-породный массив“, имеющее вид [1, 2]

$$a = \frac{10R_c k_c^p h \sin \alpha}{\gamma h - 10R_c k_c^p}, \quad (3)$$

где k_c^p – коэффициент структурного ослабления при растяжении ($k_c^p = 0,1 \dots k_c$); h – высота пород основной кровли, м; α – угла наклона боковых линий аппроксимированной параболы свода обрушения кровли к горизонту. Параметр a в выражении (3) имеет в данном случае смысл ширины обнажения пород кровли, подверженных обрушению.

Смыкание области, внутри которой выполняется точечное условие прочности (2), с границами области, определенной в соответствии с интегральным условием (3), служит признаком потери равновесия, т.е. обрушения пород кровли. Породы в пределах этой зоны составляют зону разрушительного влияния при

деформациях подработанной толщи, о которой говорилось выше.

Применительно к данным исследованиям, интерес представляют также участки кровли, прилегающие к указанной зоне разрушительного влияния, в которых выполняется критерий (2), поскольку они, совместно с породами указанной зоны, относятся к зоне разгрузки над лавой.

Согласно полученным в ходе решения данным, величина зоны разрушительного влияния составляет $h_p = 26,0$ м, что практически совпадает (разброс 13%) с теоретическими оценками по формуле (1).

Таким образом, фактическое местоположение ЦВМ, с учетом области влияния выработки (рис. 2), находится полностью в пределах зоны разрушительного влияния. Состояние горных пород в пределах этой зоны и вызывает те проявления горного давления, которые имели место при натурных наблюдениях в ЦВМ и которые ухудшают состояние выработки.

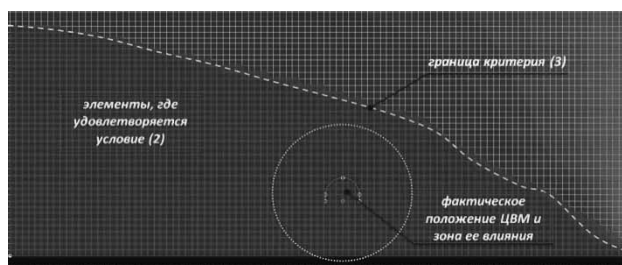


Рис. 1. Размер зоны разрушительного влияния по результатам численного решения

Вместе с тем, с точки зрения решаемой численной задачи установления рационального места заложения ЦВМ, полученный результат позволяет рассматривать ЦВМ как одиночную выработку, пройденную в фактически однородном массиве (в пределах зоны разрушительного влияния). Это в свою очередь позволяет выполнять решение в плоской постановке.

С целью исключения влияния краевых эффектов в задачах второго этапа решения, размеры области породного массива в окрестности выработки принимались равными $B \times H = 45 \times 45$ м, что примерно равно двенадцати ее радиусам.

Расчетные схемы задач второго этапа расчета приведены на рис. 2. За нулевой уровень принят уровень почвы угольного пласта.

Расчет в любом случае прекращался при подходе ЦВМ почвой к слою известняка МЗ. Пересечение выработкой слоя известняка, с учетом ее наклонного положения, не является возможной с точки зрения технологии проведения выработки, поскольку на шахте принят комбайновый способ проведения, а крепость известняка – 60 МПа.

Задача решалась в плоской постановке, поскольку геологическая ситуация на рассматриваемом участке выдержанная, а угол наклона выработки невелик (не превышает 3–50), т.е. условия применимости плоской задачи соблюдаются.

Глубина расположения выработки (исследуемого сечения) принята в расчете – 1100 м. В задаче учитывался собственный вес пород.

Вертикальная внешняя нагрузка принималась равной величине $\bar{\gamma}H$, где H – глубина расположения выработки; $\bar{\gamma}$ – средневзвешенный объемный вес пород. Средневзвешенное значение объемного веса пород определялось по формуле

$$\bar{\gamma} = \frac{\gamma_1 \cdot m_1 + \gamma_2 \cdot m_2 + \dots + \gamma_i \cdot m_i}{m_1 + m_2 + \dots + m_i}, \quad (4)$$

где $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_i$ – объемный вес пород 1-го, 2-го, ..., i -го слоя; m_1, m_2, \dots, m_i – весовые коэффициенты, в качестве которых выступают мощности слоев (1-го, 2-го, ..., i -го).

Масштабный эффект, который проявляется при переходе от образца к массиву пород в виде снижения прочности горной породы в массиве по отношению к прочности в образце, учитывался введением в расчет коэффициента физико-механического ослабления, полученного с учетом расстояния между трещинами, по методике Национального горного университета (А.Н. Шашенко, Е.А. Сдвижкова) [3]

$$k_c = \frac{\exp(\arg \Phi(1-p) \cdot \sqrt{\ln(\eta^2 + 1)})}{\sqrt{\eta^2 + 1}}, \quad (5)$$

где $\arg \Phi(1-p)$ – аргумент функции Лапласа (нормального распределения) при ее значении, равном $(1-p)$; p – уровень надежности вероятности; η – коэффициент вариации прочности массива [5]

$$\eta = \sqrt{\frac{l_T + l_0}{l_T} (\eta_0^2 + 1) - 1}, \quad (6)$$

где l_T – среднее расстояние между трещинами в массиве (по данным геологической службы), см; l_0 – характерный размер стандартного породного образца, см; η_0 – коэффициент вариации прочности образцов при испытаниях на одноосное сжатие.

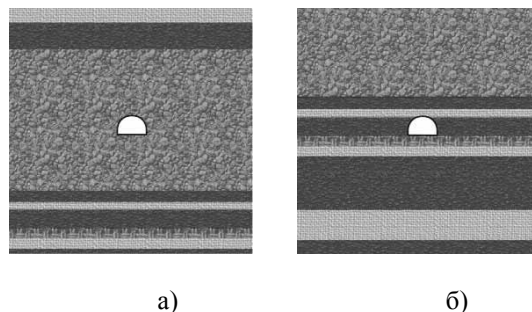


Рис. 2. Схемы задач второго этапа численных расчетов: а) положение выработки – „+10,0 м“ (фактическое положение ЦВМ); б) положение выработки – „-7,0 м“ (почва выработки на пласте известняка)

Представленные на рис. 2 расчетные схемы разбивались на четырехугольные изопараметрические конечные элементы (рис. 3).

Сетка конечных элементов генерировалась таким образом, чтобы обеспечить достаточную густоту ее вокруг горной выработки, при этом к границам исследуемой области густота сетки уменьшалась, а размеры конечных элементов увеличивались. Такой прием позволяет экономно расходовать ресурсы памяти компьютера и уменьшать мерность задачи, поскольку расчетный модуль (решатель) пакета конечно-элементного анализа имеет ограничение на количество узлов (элементов) сетки. Массив задавался слоями, условия на контактах слоев не учитывались. Отпор крепи задавался в виде распределенной нагрузки по контуру выработки, почва не подкреплялась. Физико-механические свойства горных пород зоны разрушительного влияния рассматривались как средневзвешенные величины от свойств слоев, охваченных этой зоной. Так как в пределах зоны моделировались разрушенные и уплотненные породы, средневзвешенный модуль Юнга уменьшался на порядок, прочность также искусственно занижалась, а коэффициенту Пуассона придавалось значение 0,45 (близкое к 0,5, характерному для пород разрыхленных).

В результате расчета получались картины распределения компонентов напряжений, деформаций и перемещений в узлах, в центрах элементов, а также картины зон неупругих деформаций вокруг ЦВМ.

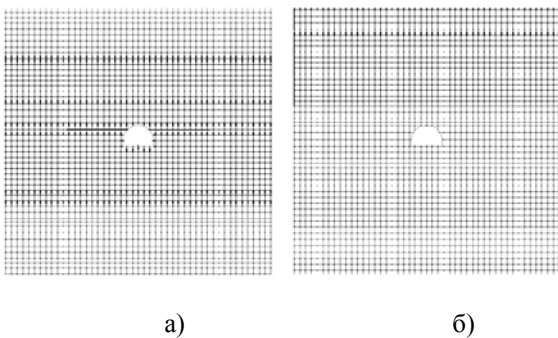


Рис. 3. Конечно-элементные реализации расчетных схем задач второго этапа численных расчетов: а) положение выработки – „+10,0 м“ (фактическое положение ЦВМ); б) положение выработки – „-7,0 м“ (почва выработки на пласте известняка)

На рис. 4 представлена зависимость относительного радиуса области неупругих деформаций r_L , измеренного в разном направлении по контуру выработки, от расстояния l от уровня почвы угольного пласта до выработки.

На рис. 6 представлена аппроксимация усредненной зависимости $r_L = f(l)$ функцией вида

$$r_L = 1,23 \cdot (3,71 - e^{-0,11l}), \quad (7)$$

где 1,23; 3,71; 0,11 – коэффициенты аппроксимации.

Анализ приведенных рисунков показывает, что наиболее неблагоприятные условия, с точки зрения развития геомеханических процессов в окрестности выработки, выраженные размерами области неупругих деформаций, наблюдаются при расположении выработки в пределах от 5,0 м до 20,0 м над уровнем почвы угольного пласта. Наиболее благоприятные условия, при которых радиус области неупругих деформаций наименьший из рассмотренных положений выработки – при положении выработки в породах почвы пласта на расстоянии -7,0 м от ее уровня.

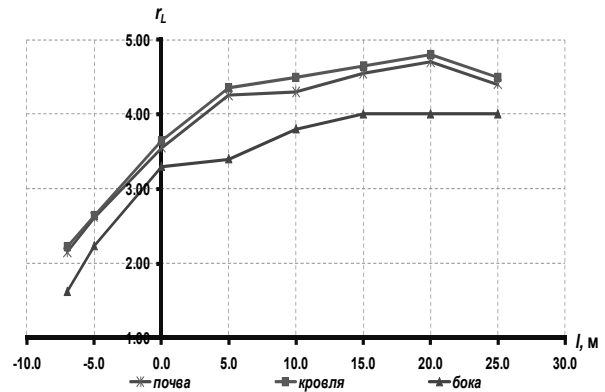


Рис. 4. Зависимость относительного радиуса неупругих деформаций r_L от расстояния l между уровнем почвы угольного пласта и почвой выработки

С приближением выработки (положение +25,0 м) к слою мощного (6,0 м) песчаника, расположенного в зоне разломов в основной кровле, размеры области неупругих деформаций начинают несколько снижаться. Учитывая, что положение оси выработки достаточно удалено от линий граничных углов сдвига, характер деформаций, присущий слоям пород в этой зоне, и жесткость мощного слоя песчаника, последний можно рассматривать как породный мост даже в данных условиях. Этим, по нашему мнению, объясняется установленный в численном эксперименте факт уменьшения размеров области неупругих деформаций при увеличении расстояния между почвой выработки и уровнем почвы пласта угля.

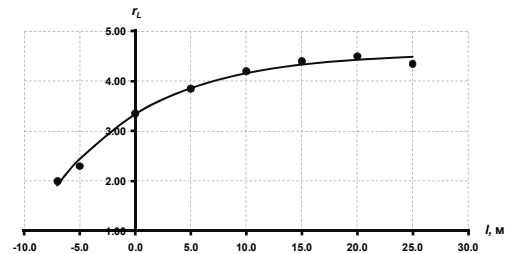


Рис. 5. Аппроксимация усредненной зависимости относительного радиуса неупругих деформаций r_L от расстояния l между уровнем почвы угольного пласта и почвой выработки

Размеры области неупругих деформаций, являясь хорошим показателем геомеханического состояния системы „горная выработка-породный массив“, вме-

сте с тем достаточно сложны для контроля из горных выработок. Показателем, весьма удобным для оценки состояния выработки и, вместе с тем, сравнительно простым с точки зрения получения его количественных величин, являются перемещения на контуре. Кроме того, как показывают многочисленные исследования, например [4], показатели „перемещения на контуре“ и „размеры области неупругих деформаций“ хорошо коррелируют друг с другом.

На рис. 6–7 показан характер горизонтальной UX и вертикальной UY конвергенций и смещения кровли и почвы исследуемой выработки (ЦВМ) при изменении расстояния l от почвы выработки до уровня почвы угольного пласта. Зависимости на рис. 6–7 достаточно хорошо аппроксимируются экспоненциальной функцией того же вида, что и на рис. 5

$$UX = a_i \cdot (b_i - e^{-c_i \cdot l}) \text{ и } UY = a_i \cdot (b_i - e^{-c_i \cdot l}), \quad (8)$$

где a_i, b_i, c_i – коэффициенты аппроксимации

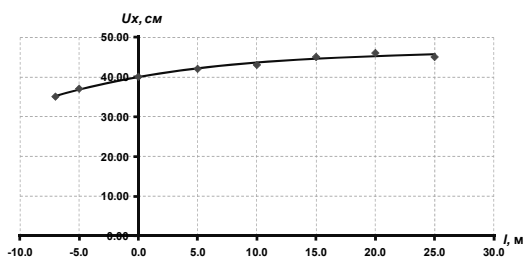


Рис. 6. Горизонтальная конвергенция UX в зависимости от расстояния l между уровнем почвы угольного пласта и почвой выработки

На рис. 6 видно, что величина горизонтальной конвергенции при расположении выработки на уровне почвы пласта (положение „0,0 м“) немного ниже, чем при фактическом положении выработки (+10,0 м) – разница составляет всего около 7%, тогда как при уходе выработки в почву угольного пласта (положение „-7,0 м“) величина горизонтальной конвергенции уже в 1,23 раза (или на 18,6%) меньше, чем при фактическом положении. Та же тенденция сохраняется и в зависимостях, характеризующих вертикальную конвергенцию (рис. 7).

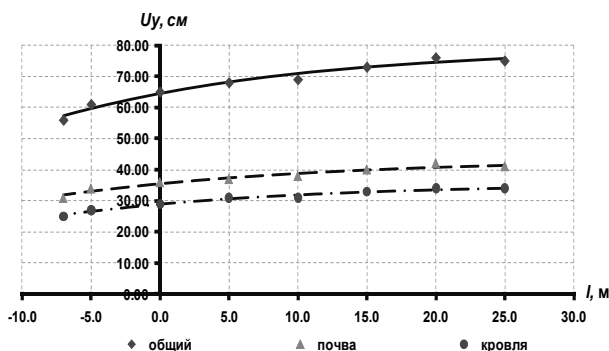


Рис. 7. Вертикальная конвергенция UY смещения кровли и почвы в зависимости от расстояния l между уровнем почвы угольного пласта и почвой выработки

При значениях +20,0 м и более наблюдается тенденция к стабилизации интенсивности изменения величин конвергенций (рис. 8).

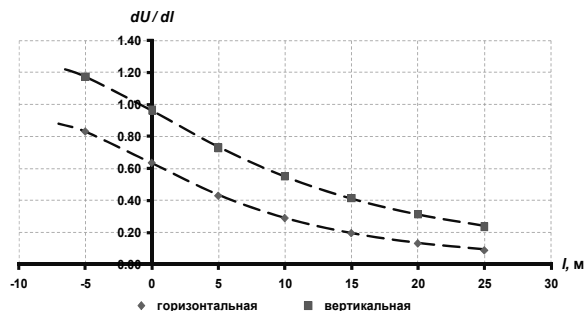


Рис. 8. Зависимость величины $\frac{dU}{dl}$ (интенсивность изменения величины конвергенции) от расстояния l до уровня почвы угольного пласта

При перемещении положения выработки выше ее фактического положения в пределах зоны разрушительного влияния (положения „+10,0 м“, „+20,0 м“) величины конвергенций меняются не очень существенно – возрастают в пределах 7–10% от состояния „+10,0 м“. При выходе из этой зоны (положение „+25,0 м“) состояние выработки начинает стремиться к исходному – прирост конвергенций составил уже 5–8%. То есть, варьирование положения выработки в пределах зоны разрушительного влияния достаточно слабо сказывается на изменении состояния выработки. Вместе с тем, уход выработки ниже ее фактического положения, с выходом из зоны разрушительного влияния в почву угольного пласта, весьма активно сказывается на изменении ее состояния, снижая величину деформаций контура в 1,23 раза при „посадке“ выработки почвой на слой крепкого известняка.

Таким образом, результаты решения численных задач позволяют сделать следующий вывод: устойчивость основных транспортных магистралей, оцениваемая величиной вертикальной (горизонтальной) конвергенции, находится в экспоненциальной зависимости от расстояния по вертикали от почвы угольного пласта, что позволяет определить такое место их заложения, при котором эксплуатационные затраты будут минимальны.

Выводы:

1. Учитывая, что в соответствии с технологией проведение Центральной вентиляционной магистрали (ЦВМ) осуществляется по обрушенным и уплотненным породам ранее отработанной разгрузочной лавы, поставлена и решена численная задача об определении размеров зоны разрушительного влияния (по А.А. Борисову) в породах кровли разгрузочной лавы.

2. Разработана расчетная схема численной задачи, повторяющая стратиграфическую ситуацию в поле 2-й центральной лавы уклонного поля пласта m_3 (разгрузочной), в поле которой впоследствии проведена ЦВМ. Оценка размеров зоны разрушительного влияния осу-

ществлялась на основе методики Н.В. Хозяйкиной по точечному и интегральному критериям.

3. Установлено, что по результатам численного решения высота зоны разрушительного влияния в данных условиях составляет $h_p = 26,0$ м, что практически совпадает (разброс 13%) с теоретическими оценками по формуле А.А. Борисова.

4. Фактическое местоположение ЦВМ, с учетом области влияния выработки, равной 3–4 ее радиусам, находится полностью в пределах зоны разрушительного влияния, что позволяет рассматривать ЦВМ как одиночную выработку, пройденную в фактически однородном массиве (в пределах зоны разрушительного влияния). Это, в свою очередь, позволяет выполнять решение в плоской постановке.

5. Размеры областей неупругих деформаций меняются в зависимости от расстояния до уровня почвы угольного пласта. С уходом ниже этого уровня, т.е. с уходом из зоны разрушительного влияния обрушающихся слоев пород кровли разгрузочной лавы, размеры области неупругих деформаций уменьшаются, разупрочнение (разрыхления) пород внутри этой зоны приобретает более регулярный характер.

6. Зависимость относительного радиуса области неупругих деформаций r_L от расстояния до уровня почвы угольного пласта хорошо аппроксимируется экспоненциальной зависимостью вида

$$r_L = 1,23 \cdot (3,71 - e^{-0,11z}),$$

где 1,23; 3,71; 0,11 – коэффициенты аппроксимации.

7. Наиболее благоприятные условия, с точки зрения развития геомеханических процессов в окрестности выработки, выраженные размерами области неупругих деформаций, наблюдаются при расположении выработки в пределах от 5,0 до 20,0 м над уровнем почвы угольного пласта. А наиболее благоприятные условия, при которых радиус области неупругих деформаций наименьший из рассмотренных положений выработки – при положении выработки в породах почвы пласта на расстоянии -7,0 м от ее уровня.

8. Устойчивость основных транспортных магистралей, оцениваемая величиной вертикальной (горизонтальной) конвергенции, находится в экспоненциальной зависимости от расстояния по вертикали от почвы угольного пласта, что позволяет определить такое место их заложения, при котором эксплуатационные затраты будут минимальны.

Список литературы / References

1. Шашенко А.Н. Закономерности изменения предельного состояния в сложноструктурной кровле угольного пласта при установившемся обрушении. // Шашенко А.Н., Хозяйкина Н.В. // Наукотехнический журнал „Науковий вісник“ Національного гірничого університету – Дніпропетровськ: 2004. №4.– С. 49–52

Shashenko A.N. Regularities of changes in the marginal state of the structured roof of the coal seam during

steady failure / Shashenko A.N., Khozyaykina N.V. // Naukovyi visnyk NGU – Dnipropetrovsk: 2004. No.4. – P. 49–52

2. Хозяйкина Н.В. Обрушение пород кровли в лавах пологозалегающих пластов: Сб. научн. трудов. Международная студенческая научно-техническая конференция „Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений“. / Хозяйкина Н.В. // – Донецк: „Норд-пресс“, 2004. С. 70–72

Khozyaykina N.V. The failure of roof rocks in flat-lying lava formations: Collected papers. International Student Scientific Conference “Improvement of the Technology of Construction of Mines and Underground Facilities”. / Khozyaykina N.V. // – Donetsk: “Nord-Press”, 2004. P. 70–72

3. Шашенко А.Н. Некоторые задачи статистической геомеханики / А.Н. Шашенко, С.Б. Тулуб, Е.А. Сдвижкова. // – К.: Універ. вид-во „Пульсар“, 2002.– 304 с

Shashenko A.N. Certain problems of statistical geomechanics / Shashenko A.N. Tulub S.B., Sdvizhkova Ye.A. // – К.: Univer. Vyd-vo “Pulsary”, 2002. – 304 p.

4. Шашенко А.Н. Исследование закономерностей изменения смещений и деформаций пород по глубине зоны неупругих деформаций / Шашенко А.Н., Солодянкин А.В., Наумович А.В. // Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг: 2009. – Вып. 23. – С. 47–50

Shashenko A.N. Study of regularities of changes in deformation of rocks in deep zone of inelastic deformations / Shashenko A.N., Solodyankin A.V., Naumovich A.V. // Visnyk of KTU. – Kryvyi Rih: 2009. – Issue 23. P. 47–50

Представлено результати чисельного рішення задачі про напружено-деформований стан (НДС) приконтурного масиву в околиці центральної вентиляційної магістралі шахти „Ім. В.М. Бажанова“. Встановлено, що найбільш сприятливі умови, за яких радіус області непружних деформаций найменший з розглянутих положень вироблення, – при положенні вироблення в породах ґрунту пласта на відстані 7,0 м від її рівня.

Ключові слова: приконтурних масив, похила виробка, чисельне завдання, напружено-деформований стан, зона непружних деформаций

The results of numerical solutions of the problem of stress-deformed state of marginal massif in the vicinity of the central ventilation shaft of the mine “Im. V.M. Bazhanova” are presented. It was found out that the most favorable for assuring minimal radius of inelastic deformation is location of mine working at a depth of 7.0 m under the level of ventilation shaft.

Keywords: marginal massif, inclined mine working, numerical problem, stress-deformed state, zone of inelastic deformation

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук О.В. Солодянкиним. Дата надходження рукопису 18.04.11.