

239 с.

4. Мелиоративное почвоведение с основами гидрологии/ Под ред. С.Т. Вознюка и П.К.Кузьмича. – Львов: Вища школа, 1984. - 264 с.
5. Ломтадзе А.М., Ломтадзе В.Д. Руководство по инженерно-геологическому изменению глинистых пород. М., Энергия, 1970.
6. Ромм Е.С. Структурные модели порового пространства горных пород. – Л.: Недра, 1985. – 240 с.
7. Чаповский Е.Г. Инженерная геология (Основы инженерно-геологического изучения горных пород). Учебное пособие для студентов геолог. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1975. – 296 с.
8. Гольдберг В.М., Скворцов Н.П. Проницаемость и фильтрация в глинах. М.: Недра, 1986. – 160 с.
9. Сергеев Е.М. Грунтоведение. Изд-во МГУ, 1971.
10. Ларионов А.К. Инженерно-геологическое изменение структуры рыхлых осадочных пород. М.: Недра, 1966.

УДК 622.268.13:622.833.3.001.24

Асп. Е.А. Бубнова
(ИГТМ НАН Украины)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОЖИДАЕМЫХ СМЕЩЕНИЙ КОНТУРА ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ И ВЫБОРА МЕСТА ЕЕ ЗАЛОЖЕНИЯ В СДВИГАЮЩЕМСЯ МАССИВЕ

Приведено методику розрахунку очікуваних зсувів контуру виробки виходячи зі зрушення масиву гірських порід, що підроблюється. Розроблено рекомендації з вибору місця закладення підготовчих виробок і напрямку ведення очисних робіт щодо геометричних елементів залягання вугільного пласту.

THE TECHNIQUE OF ACCOUNT OF PREPARATORY WORKING EXPECTED DISPLACEMENT AND CHOICE OF A PLACE IT CONTOUR INTERVAL IN A DISPLACEMENT MASS

The technique of account of a contour of working expected displacement proceeding from displacement of underworking rock mass is given. The recommendations are developed at the choice of a place of preparatory working contour interval and direction of breakage works conducting concerning geometrical elements coal seam bedding.

Одним из основных технико-экономических показателей эффективности работы шахты является проведение и охрана подготовительных выработок. В шахтах Донбасса при мощности угольных пластов 1 м и более применяют в основном столбовые системы разработки с отработкой горизонта обратным ходом. Для этих систем, требующих заблаговременную подготовку шахтного поля, вопрос безремонтного поддержания выработок на протяжении всего срока их эксплуатации является особенно актуальным.

Научно-исследовательские работы и опыт шахт показали, что даже на больших глубинах в сложных горно-геологических условиях, возможно обеспечить безремонтное поддержание выработок при условии правильного выбора их расположения в массиве, способов и параметров охраны и средств поддержания на основе расчетов параметров сдвижения массива и смещений контура выработок.

Для определения смещений контуров выработок используют математиче-

ское моделирование и как наиболее развитые из них методы конечных и граничных элементов. Но при этом также рассматривается только напряженное состояние вокруг выработки.

Исследования состояния подземных выработок основаны на результатах инструментальных наблюдений. наблюдения производят как в выработках (датчики, измерительные стойки, глубинные репера), так и на удалении от них (буровые скважины). однако при этом определяют деформации выработки исходя из напряженного состояния вокруг самой выработки, но не учитывают сдвигение всего подработанного массива горных пород.

При проектировании горных выработок и расчете ожидаемых смещений контура применяют нормативные документы [1-4]. Методики расчета смещений контуров выработок трудоемки и каждая из них выполнена для определенных горно-геологических условий, что не позволяет использовать их широко. Поэтому возникла необходимость в разработке метода расчета смещений контуров выработок, который учитывал бы параметры сдвигаения всего подработанного массива горных пород.

При решении поставленной задачи были установлены взаимосвязи между параметрами сдвигаения подработываемого массива горных пород и смещениями контуров подготовительных выработок на горизонтах разработки пласта. На этой основе разработана предлагаемая ниже методика выбора места заложения подготовительных выработок и направлениям ведения очистных работ. Использование этих рекомендаций позволит продлить безремонтное поддержание горных выработок.

Область применения методики:

- столбовые системы разработки;
- подготовительные выработки, примыкающие к очистным забоям;
- управление кровлей полным обрушением;
- пологое залегание угольного пласта (0-15°);
- глубина разработки до 1200 м;
- вынимаемая мощность пласта от 0,5 до 2,5 м.

При решении этой задачи использовалась послойно блочная модель сдвигаения, разработанная в ИГТМ НАН Украины [5-6]. В ней установлены закономерности развития процесса сдвигаения от выработанного пространства до земной поверхности, установлены взаимосвязи между параметрами сдвигаения и горнотехническими параметрами очистной выемки не эмпирическими, а аналитическими зависимостями.

Установлено, что сдвигаение массива горных пород, его деформации и деформации выработок зависят как от горно-геологических, так и от горнотехнических параметров разработки.

Закономерности распределения сдвигаения пород в массиве, которые представлены в [6], могут быть перенесены на контур выработки. Горизонтальные и вертикальные составляющие векторов сдвигаения подработанного массива горных пород и смещения контура выработок находятся во взаимосвязи, но при этом горизонтальные могут быть направлены в противополож-

ные стороны.

В ходе выполнения исследований установлены аналитические зависимости для определения горизонтальных смещений земной поверхности, деформаций растяжения и сжатия на земной поверхности и в массиве горных пород возле мест заложения выработок, горизонтальные и вертикальные смещения контуров выработок, продолжительность активных деформаций контуров выработок и протяженность выработки, подверженной влиянию очистного забоя впереди него.

На основании установленных закономерностей разработана настоящая методика, которая предназначена для расчета ожидаемых смещений контура подготовительной выработки при столбовой системе разработки при выемке пологих угольных пластов, а также выбора направления ведения очистных работ относительно геометрических элементов залегания пласта, обеспечивающего минимальные смещения контура выработки.

Расположение подготовительных выработок относительно очистных работ следует принимать из условия, чтобы обеспечивалось безремонтное рабочее состояние выработок при креплении их, как правило, незамкнутой податливой крепью без или с различными мероприятиями по уменьшению смещений на контуре выработки.

Проектные решения по выбору средств поддержания выработок следует принимать по величине ожидаемых максимальных смещений на контуре поперечного сечения.

Основными исходными данными для решения выбора рационального расположения выработок в массиве и направления ведения очистных работ являются:

- глубина размещения выработок, H , м;
- угол падения угольного пласта, α , град.;
- вынимаемая мощность пласта, m , м;
- граничные углы сдвижения, ω , γ , β , δ , град.;
- степень метаморфизма вмещающих пород;
- проектную или фактическую скорость подвигания очистного забоя, V_3 , м/мес.;
- длина очистного забоя, $L_{Дл}$, м;
- азимут ведения очистных работ относительно линии простирания пласта, θ , град.;
- шаг обрушения основной кровли, l_K , м;
- скорость развития деформаций в массиве по плоскости сдвижения, $V_{Дл}$, м/сут.;
- максимальная скорость оседания земной поверхности, V_{Omax} , мм/сут.;
- продолжительность процесса сдвижения, T , мес.;
- коэффициент разрыхления пород, K_p ;
- коэффициент жесткости крепи выработки, $K_{жс}$.

Основные расчетные положения

1. Рассчитываются ожидаемые вертикальные и горизонтальные смещения

контура выработки по формулам (1, 2) для вариантов проведения выработок по простиранию, вкрест простирания и под углом к простиранию.

$$\eta_k = K_{жс} K_H m \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

$$\xi_k = K_{жс} K_H m \cdot \sin \alpha + m K_p K_H \cdot ctg \omega \quad (2)$$

1.1. Под жесткостью крепи $K_{жс}$ понимают отношение приращения реакции к величине ее укорочения за какой-либо период времени.

1.2. Коэффициент, учитывающий глубину разработки K_H рассчитывается по формуле (3) или берется из таблицы 1.

$$K_H = 0,048 \cdot e^{0,0034 \cdot H} \quad (3)$$

1.3. Коэффициент разрыхления вмещающих горных пород согласно [7,8] $K_p = 1,05-1,21$. Для конкретных горно-геологических условий рекомендуется устанавливать K_p экспериментальным путем.

1.4. Угол естественного сдвижения согласно [5] рассчитать по формуле (4).

$$\omega = \arcsin \frac{H}{\sqrt{H^2 + \left(L_n + \frac{H}{tg \gamma} - l_k \right)^2}} \quad (4)$$

где L_n – расстояние от разрезной печи до забоя лавы, при котором начинается процесс сдвижения (определяется опытом ведения горных работ в данных условиях), м; γ – граничный угол динамической мульды сдвижения, град., рассчитывается согласно [9, § 7].

Таблица 1 – Коэффициент, учитывающий глубину разработки

Н, м	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650
K_H	0,067	0,080	0,095	0,112	0,133	0,158	0,187	0,222	0,263	0,311	0,369	0,438
Н, м	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	
K_H	0,519	0,615	0,729	0,864	1,024	1,213	1,438	1,705	2,021	2,395	2,839	

1.5. Определяются функции угла падения пласта α .

Для варианта проведения выработки под углом к простиранию необходимо учитывать угол отклонения перемещения забоя от азимута простирания

угольного пласта θ . Вычислить исправленный угол падения пласта по выражению (5).

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha' &= \sin \theta \operatorname{tg} \alpha \\ \alpha' &= \operatorname{arctg} (\sin \theta \operatorname{tg} \alpha) \end{aligned} \quad (5)$$

1.6. Сравниваются полученные данные для разных вариантов проведения выработок относительно геометрических элементов залегания пласта. Выбирается наилучший вариант [10].

1.7. По расчетным величинам смещений на контуре выработки, определяемым настоящей методикой, производится выбор крепи с соответствующей конструктивной податливостью, а при необходимости и дополнительные мероприятия по уменьшению смещений, которые обеспечивают рабочее состояние выработки в течение всего срока службы.

2. Для подтверждения правильности выбранного варианта по формулам (6-8) рассчитывается объем горной массы одновременно вовлекаемой в сдвигание. Так как установлено, что при изменении направления ведения очистных работ относительно залегания пласта, изменяется объем одновременно вовлекаемых в сдвигание пород, что также влияет на состояние выработок. С увеличением угла наклона пласта и глубины разработки увеличивается объем пород, одновременно вовлекаемых в сдвигание.

2.1. Перемещение очистного забоя по простиранию

$$\begin{aligned} V_{np} &= \frac{1}{3} H \cdot [L_{\text{Л}} l_{\text{К}} + (L_{\text{Л}} + 2H \operatorname{ctg} \omega) \cdot (l_{\text{К}} \cos \alpha + H \operatorname{ctg} \gamma + H \operatorname{ctg} \omega) + \\ &+ \sqrt{L_{\text{Л}} l_{\text{К}} \cdot (L_{\text{Л}} + 2H \operatorname{ctg} \omega) \cdot (l_{\text{К}} \cos \alpha + H \operatorname{ctg} \gamma + H \operatorname{ctg} \omega)}] \end{aligned} \quad (6)$$

2.2. Перемещение очистного забоя в крест простирания

$$\begin{aligned} V_{\text{кр}} &= \frac{1}{3} H \cdot [L_{\text{Л}} l_{\text{К}} + (L_{\text{Л}} \cos \alpha + 2H \operatorname{ctg} \omega) \cdot (l_{\text{К}} + H \operatorname{ctg} \beta + H \operatorname{ctg} \omega) + \\ &+ \sqrt{L_{\text{Л}} l_{\text{К}} \cdot (L_{\text{Л}} \cos \alpha + 2H \operatorname{ctg} \omega) \cdot (l_{\text{К}} + H \operatorname{ctg} \beta + H \operatorname{ctg} \omega)}] \end{aligned} \quad (7)$$

2.3. Перемещение очистного забоя под некоторым углом к простиранию

$$\begin{aligned} V_{\text{уз}} &= \frac{1}{3} H \cdot [L_{\text{Л}} l_{\text{К}} + (l_{\text{К}} \cos \alpha' + 2H \operatorname{ctg} \omega) \cdot (L_{\text{Л}} \cos \alpha' + H \operatorname{ctg} \gamma' + H \operatorname{ctg} \omega) + \\ &+ \sqrt{L_{\text{Л}} l_{\text{К}} \cdot (l_{\text{К}} \cos \alpha' + 2H \operatorname{ctg} \omega) \cdot (L_{\text{Л}} \cos \alpha' + H \operatorname{ctg} \gamma' + H \operatorname{ctg} \omega)}] \end{aligned} \quad (8)$$

При первичной посадке при пологом залегании пласта ($\alpha=0-5^\circ$) лучше состояние выработок, проведенных в крест простирания, при наклонном и кру-

тонаклонном залегании - выработки лучше проводить по простиранию.

2.4. Шаг обрушения основной кровли (длина консоли) l_K определяется экспериментальным путем для конкретных горно-геологических и горнотехнических условий, зависит от степени метаморфизма и скорости подвигания очистного забоя [11, 12]. Для упрощения расчетов можно принимать по таблице 2.

Таблица 2 – Шаг обрушения основной кровли

Шаг обрушения основной кровли (длина консоли), м	Степень метаморфизма пород		
	слабая	средняя	высокая
	20-50	50-90	90-150

2.5. В условиях, где возможно проведение выработок только под углом к простиранию пласта (при доработке запасов, ведении горных работ у границ шахтного поля и геологических нарушений или при извлечении целиков угля) необходимо также учитывать обводненность и газонасыщенность угленосной толщи при выборе направления развития горных работ на больших глубинах [13].

В зависимости от расположения линии очистного забоя по отношению к геометрии залегания пласта вода образует линию затопления. В зависимости от расположения уровня затопления выработанного пространства вода перекрывает пути равномерного выделения метана в очистной забой. Поэтому в массиве происходит перераспределение газовыделения в выработки. Метан скапливается на сопряжении лавы с вентиляционным штреком. При нарушении режима проветривания, технологического цикла извлечения угля, при обрушении пород кровли или сочетании иных обстоятельств содержание метана может резко стать критическим, что является аварийной ситуацией.

3. Определяются величины относительных деформаций растяжения и сжатия пород массива возле подготовительных выработок по выражениям (9, 10), которые определяют зоны нарушения пород.

$$\varepsilon_{сж} = \frac{L_{л} + 2(m \cdot \cos \alpha \cdot K_H \cdot K_P \cdot ctg \beta) + (L_{л} - l_1 - l_2)}{L_{л}} \quad (9)$$

$$\varepsilon_{р} = \frac{L_{л} + 2(m \cdot \cos \alpha \cdot K_H \cdot K_P \cdot ctg \beta) + l_1 + l_2}{L_{л}} \quad (10)$$

3.1. Коэффициенты K_H , K_P выбираются согласно пунктам 1.2 и 1.3.

3.2. Граничный угол сдвижения β рассчитывается согласно [9, §7].

3.3. l_1 и l_2 - концевые участки лавы, ускорение опускания кровли на которых меньше, чем по центру лавы, м. [14].

Величины l_1 и l_2 определяются экспериментальным путем для конкретных горно-геологических и горно-технических условий. Согласно [14] l_1 и l_2 равны

15-20 м.

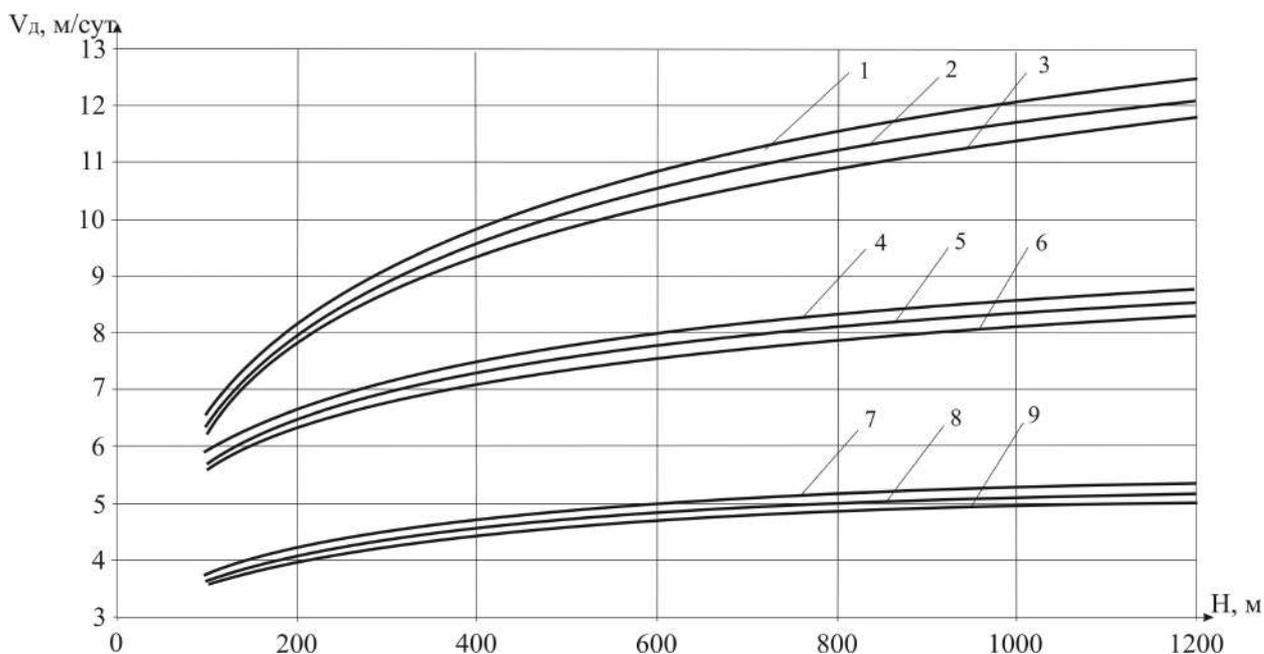
4. Рассчитывается длина выработки, подверженной деформациям впереди движущегося очистного забоя по выражению (11).

$$L_{\epsilon} = \frac{V_z \cdot H_p}{V_d \sin \omega} \quad (11)$$

4.1. Скорость развития деформаций в массиве по плоскости сдвижения V_D рассчитывается по выражению (12) согласно [15], принимается по графикам (рис. 1).

$$V_D = \frac{3 \cdot H}{T \cdot \sin \omega} \quad (12)$$

где T – продолжительность процесса сдвижения, мес., которая принимается согласно [9, табл. 7.2].



- 1, 2, 3 – скорости развития деформаций в массиве при скорости подвигания очистного забоя 70 м/мес. соответственно при высокой, средней и слабой степени метаморфизма;
4, 5, 6 – тоже при скорости подвигания очистного забоя 50 м/мес.;
7, 8, 9 – тоже при скорости подвигания очистного забоя 30 м/мес.

Рис. 1 – Графики скоростей развития деформаций в горном массиве

4.2. Угол естественного сдвижения ω рассчитывается по выражению (4).

5. Определяется время активных деформаций контура выработки по выражению (13) [15].

$$T_{\text{окр.}} = \frac{q \cdot m \cdot \cos \alpha}{V_{\text{Omax}}} \quad (13)$$

где q – коэффициент главного вектора сдвижения, учитывающий глубину разработки; V_{Omax} – максимальная скорость оседания земной поверхности, мм/сут., характеризует сдвижение в период опасных деформаций.

5.1. Коэффициент главного вектора сдвижения определяется из выражений (14)-(16).

Для слабой степени метаморфизма

$$q_{\text{сл}} = \frac{3.807}{H^{0.3252}}; \quad (14)$$

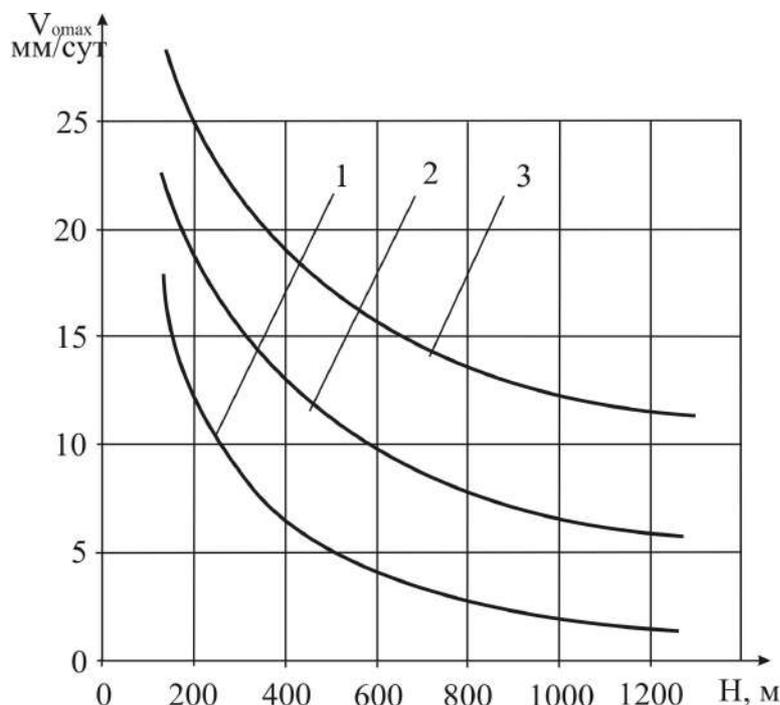
Для средней степени метаморфизма

$$q_{\text{ср}} = \frac{14.109}{H^{0.6184}}; \quad (15)$$

Для высокой степени метаморфизма

$$q_{\text{выс}} = \frac{14.421}{H^{0.755}} \quad (16)$$

5.2. Скорость оседания земной поверхности может быть получена на основании инструментальных наблюдений на данной шахте или на основании опыта работы предприятий с близкими горно-геологическими и горнотехническими условиями или по графикам (рис. 2).



степень метаморфизма: 1- слабая, 2 – средняя, 3 – высокая
Рис. 2 – Графики скорости оседания земной поверхности

5.3. Учитывая время активных деформаций контура выработок, рассчитанное по п. 5, предусмотреть перекрепление выработки, если деформации больше нормативных значений.

Расчитанные по пп. 1 – 3 ожидаемые смещения контура подготовительной выработки, объемы пород, одновременно вовлекаемых в сдвигание, относительные деформации растяжения и сжатия пород массива возле мест заложения выработок, позволяют выбрать направление ведения очистных работ относительно геометрии залегания пласта и место заложения выработки в сдвигающемся массиве, которые обеспечат минимальные смещения и сохранность выработки на продолжительный период. Расчет длины выработки, подверженной деформациям впереди очистного забоя, и времени активных деформаций контура выработки позволяет предусмотреть временное усиление крепи и перекрепление для повторного использования выработки.

Таким образом, предложенная выше методика позволяет прогнозировать смещения в выработках и оценивать их эксплуатационное состояние.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. Л., 1985. 222 с. (М-во угольной промышленности СССР. Всесоюз. ордена Трудового Красного Знамени научн.-исслед. ин-т горн. геомех. и маркшейд. дела).
2. Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи / ВНИМИ, ВНИИОМШС Минуглепрома СССР. – М.: Стройиздат, 1983. – 272 с.
3. Инструкция по выбору рамной металлической податливой крепи горных выработок.
4. Инструкция по поддержанию горных выработок на шахтах Западного Донбасса. СПб-Павлоград, 1994 – 95 с. Научн. исслед. ин-т горн. геомех. и маркшейд. дела – Зап.- Донбасский научно-произв. центр «Геомеханика».
5. Четверик М.С., Озеров И.Ф. Геомеханическая модель сдвижения геологической толщи и земной поверхности при выемке угля /Сб. научн. трудов горной академии Украины, №9, том 2, 2000. – С. 3-7.
6. Четверик М.С., Андрощук Е.В. Теория сдвижения массива горных пород и управления деформационными процессами при подземной выемке угля. Днепропетровск: РИА «Днепр-VAL», 2004. – 148 с.
7. Эколого-технологические проблемы безопасной отработки угольных месторождений: Монография / Под общ. редакцией С.С. Гребенкина, И.Ф. Иванова. – Донецк: ДонНТУ, 2004. – 256 с.
8. Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок // Виноградов В.В. АН УССР. Ин-т геотехн. механики. – Киев: Наук. Думка, 1989. – 192 с.
9. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на угольных месторождениях. Утв. Минуглепром СССР. М.: Недра, 1981. – 288 с.
10. Бубнова Е.А. Влияние направления развития очистных работ на параметры сдвижения и устойчивость горных выработок. // Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. тр. Институт геотехнической механики НАН Украины.- Днепропетровск, 2002.- вып. 36.- С. 87-92.
11. Хозяїкіна Н.В. Закономірності зміни граничного напруженого стану у складно структурній покрівлі лав положистих вугільних пластів. // Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня кандидата техн. наук. Дніпропетровськ, 2004. – 18 с.
12. Куклін В.Ю. Геомеханічне обґрунтування параметрів способів кріплення та охорони виробок в нестійких породах при інтенсивному відпрацюванні пологих вугільних пластів. // Автореф. дис. на здобуття наукового ступеня кандидата техн. наук. Дніпропетровськ, 2004. – 20 с.
13. Четверик М.С., Бубнова Е.А., Зборовский В.В. Взаимосвязь гипсометрии пласта и направления проведения подготовительных и очистных выработок // Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. трудов.- Днепропетровск:- 2005.- №55 .- С. 118-123.
14. Антипов И.В., Кравченко В.Е., Щербина Д.В. Шахтные исследования конвергенции вмещающих пород // Уголь Украины, 2000.- №10. С. 24-27.
15. Бабий Е.В. Взаимосвязь параметров процесса сдвижения и параметров очистной выемки пологих угольных пластов // Дис. на соискание ученой степени кандидата техн. наук. Днепропетровск, 2005. – 170 с.
16. Бубнова Е.А. Взаимосвязь продолжительности процесса сдвижения и деформаций крепи выработок // Геотехническая механика. Межвед. сб. научн. трудов.- Днепропетровск:-2003.- № 47 .- С. 231-235.