

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
Кременчуцький національний університет
Імені Михайла Остроградського**

**СУЧАСНІ
РЕСУРСОЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ
ТЕХНОЛОГІЇ ГІРНИЧОГО
ВИРОБНИЦТВА**

НАУКОВО-ВИРОБНИЧИЙ ЖУРНАЛ

Випуск 1/2012 (9)

Кременчук - 2012

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПРОТЯЖЕННЫХ ВЫРАБОТОК ПО ВЕЛИЧИНЕ СМЕЩЕНИЙ ИХ КОНТУРА

А.В. Солодянкин

Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», пр. К.Маркса, 19, Днепропетровск, 49027, Украина, E-mail: solodyankinO@nmu.org.ua

С.Н. Гапеев

Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», пр. К.Маркса, 19, Днепропетровск, 49027, Украина, gapeevS@nmu.org.ua

А.В. Мартовицкий

Публичное акционерное общество «ДТЭК Павлоградуголь», ул. Ленина, 76, Днепропетровская обл., г. Павлоград, 51400, Украина. E-mail: ShashenkoA@nmu.org.ua

В.В. Панченко

Публичное акционерное общество «ДТЭК Павлоградуголь», ул. Ленина, 76, Днепропетровская обл., г. Павлоград, 51400, Украина. E-mail: pvv_nmu@mail.ru

Показано, что общая стоимость протяженной выработки может быть представлена как совокупность капитальных и эксплуатационных затрат. Установлена зависимость показателя устойчивости выработки от величины смещений контура. Обоснован механизм управления состоянием массива в окрестности горных выработок в условиях возможного образования больших зон деформированных пород. Установлена зависимость абсолютных смещений, радиальных и тангенциальных деформаций пород в массиве вокруг выработки и определены границы зон разрушенных и пластически деформированных пород.

Ключевые слова: устойчивость выработки, критерии оценки устойчивости, смещения контура, зона неупругих деформаций

ОЦІНКА СТІЙКОСТІ ПРОТЯЖНИХ ВИРОБОК ЗА ВЕЛИЧИНОЮ ЗМІЩЕНЬ ЇХ КОНТУРА

О.В. Солодянкин

Державний ВУНЗ «Національний гірничий університет», пр. К.Маркса, 19, Дніпропетровськ, 49027, Україна, E-mail: solodyankinO@nmu.org.ua

С.М. Гапеев

Державний ВУНЗ «Національний гірничий університет», пр. К.Маркса, 19, Дніпропетровськ, 49027, Україна, E-mail: gapeevS@nmu.org.ua

А.В. Мартовицкий

Публічне акціонерне товариство «ДТЕК Павлоградвугілля», вул. Леніна, 76, Дніпропетровська обл., м. Павлоград, 51400, Україна. E-mail: ShashenkoA@nmu.org.ua

В.В. Панченко

Публічне акціонерне товариство «ДТЕК Павлоградвугілля», вул. Леніна, 76, Дніпропетровська обл., м. Павлоград, 51400, Україна. E-mail: pvv_nmu@mail.ru

Показано, що загальна вартість протяжної виробки може бути подана як сукупність капітальних та експлуатаційних витрат. Встановлена залежність показника стійкості виробки

від величини зміщень контура. Обґрунтований механізм управління станом масиву навколо гірничих виробок в умовах можливого утворення великих зон деформованих порід. Встановлена залежність абсолютних зміщень, радіальних та тангенціальних деформацій порід в масиві навколо виробки та визначені границі зон зруйнованих та пластично деформованих порід.

Ключові слова: стійкість виробки, критерії оцінки стійкості, зміщення контура, зона непружних деформацій

Введение. Добыча полезных ископаемых неразрывно связана с увеличением глубины разработки. При этом существенно возрастает горное давление, изменяются свойства породной среды, увеличивается геологическая нарушенность месторождений. Горное давление в выработках проявляется в виде нагрузки на крепь, деформаций контура выработки, пучения пород почвы, вывалов и пр. Смещения породного контура являются основным внешним признаком при оценке влияния геомеханических процессов на состояние выработки.

Анализ многочисленных результатов исследований показывает, что процесс смещений пород носит временной характер, а на его интенсивность наибольшее влияние оказывает комплексный параметр $\theta = R_c k_c / \gamma H$.

Зависимость некоторых геомеханических и стоимостных показателей от комплексного показателя условий разработки θ по данным работ, показывает их хорошую корреляцию (рис. 1), что вполне логично. Так, снижение показателя θ вызывается уменьшением прочности пород и/или увеличением глубины горных работ. Это приводит к значительному возрастанию зон разрушенных и деформированных пород вокруг выработки – зоны неупругих деформаций r_L , большим смещениям породного контура, формированию критической нагрузки на крепь, деформациям последней, что вызывает такие явления, как пучение пород почвы (P – вероятность пучения) и вывалообразование пород кровли (B – частота вывалообразований).

Эти явления характерны именно для условий больших глубин разработки. В связи с этим, резко увеличиваются затраты на ремонт и поддержание выработок в эксплуатационном состоянии C_w . Так, для горно-геологических условий шахт ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» ($\theta = 0,6 \dots 0,7$) величина эксплуатационных затрат, связанных с ремонтом выработок составляет, примерно, 570 млн. грн. в год.

Общая стоимость протяженной выработки может быть представлена как совокупность капитальных затрат на сооружение выработки и затрат на под-

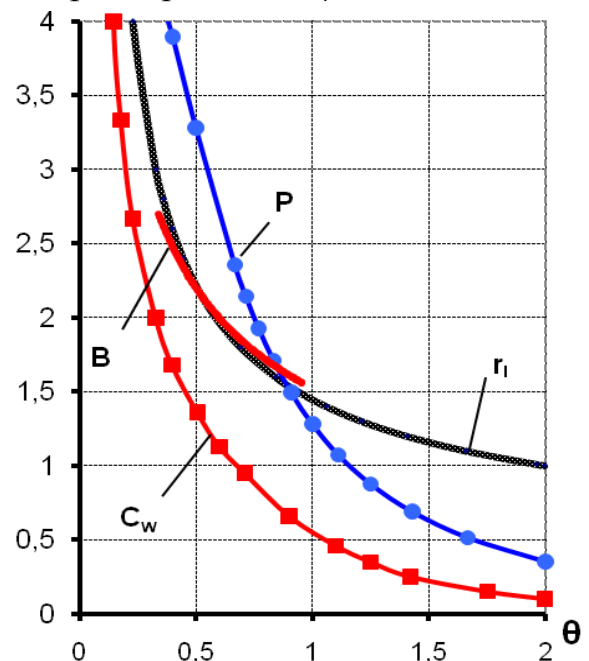


Рис. 1. Зависимости геомеханических и стоимісних показателів от показателя умов розробки θ

держание и ремонт выработки (эксплуатационных затрат). При этом при сооружении и эксплуатации выработки следует стремиться к тому, чтобы эта совокупность затрат была минимальной, т.е.:

$$\sum C = C_{kap} + C_{\omega} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где C_{kap} – капитальные затраты на сооружение выработки; C_{ω} – эксплуатационные затраты, связанные с ремонтом и поддержанием выработки.

Очевидно, что обеспечить выполнение условия (1) можно управляя входящими в выражение параметрами C_{kap} и C_{ω} . Кроме того, следует заметить, что $C_{\omega} = f(C_{kap})$ и $C_{\omega} = f(\omega)$.

Определение оптимальных затрат на строительство и эксплуатацию выработок предполагает выбор соответствующих данным условиям систем крепления с учетом фактора времени.

В качестве исходной модели к оптимизации затрат может быть использована стохастическая модель выработки, описанная в [1]. Основным параметром, определяющим состояние выработки в произвольном сечении, полагается отношение несущей способности крепи к действующей нагрузке – коэффициент устойчивости K_s . В каждый конкретный момент времени в выработке по длине можно выделить участки двух типов.

К первому типу относятся такие, в пределах которых K_s больше единицы. Здесь устойчивость выработки на данный момент можно считать обеспеченной.

Второй тип – это участки, на которых действующая нагрузка превышает предельно допустимую величину ($K_s < 1$). Устойчивость выработки здесь не обеспечивается, в пределах участка могут иметь место разрушения крепи и рельсового пути разной степени. Распределение коэффициента K_s по длине выработки носит случайный характер. Схематически зависимость K_s от продольной координаты S представлена на рис. 2.

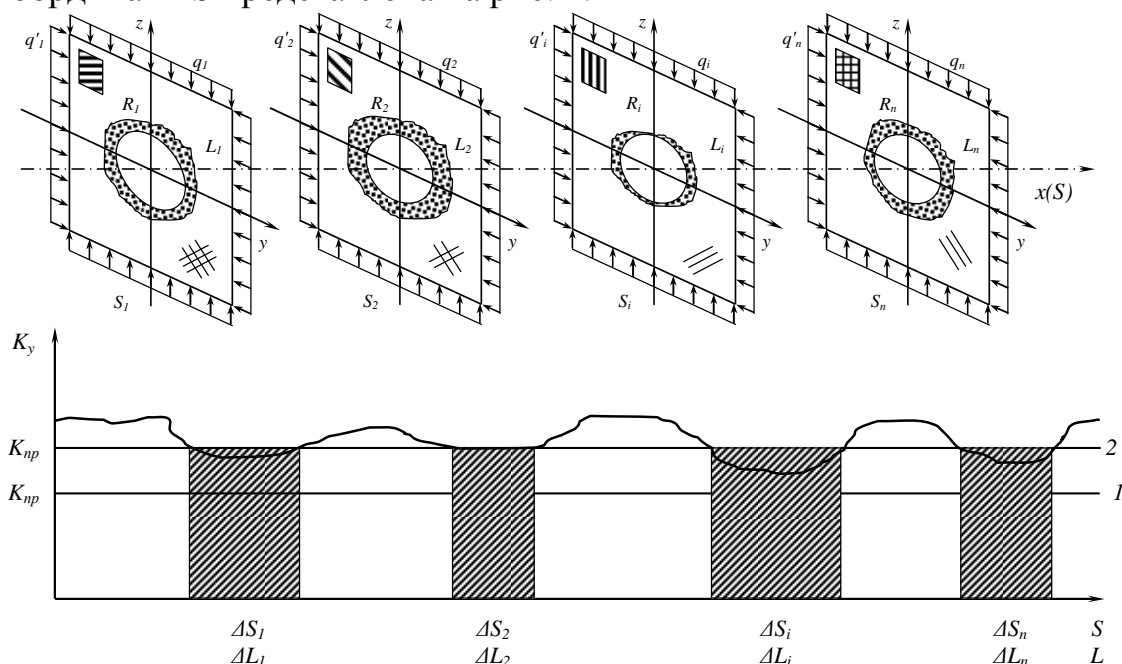


Рис. 2. Стохастическая модель протяженной горной выработки

Заштрихованные участки соответствуют значениям $K_s < 1$, они требуют выполнения ремонтных работ. Отношение суммарной длины не требующих ремонта участков \bar{S} , к полной длине выработки S – параметр, характеризующий в интегральном смысле состояние выработки в целом

$$\omega = \frac{\bar{S}}{S}, \quad (2)$$

называемый показателем устойчивости.

Величина ω изменяется в пределах от 0 до 1. Выработка обладает полной устойчивостью при $\omega = 1$ или полностью разрушена при $\omega = 0$.

Для решения задачи обеспечения длительной устойчивости протяженных выработок и оптимизации затрат на их сооружение и поддержание важными вопросами являются:

- определение зависимости показателя устойчивости выработки от основных влияющих факторов;
- раскрытие закономерностей деформационных процессов в приконтурном массиве пород для обоснования параметров способов управления геомеханическим состоянием окружающего выработку массива пород.

Определение зависимости показателя устойчивости выработки от основных влияющих факторов.

Длительная устойчивость протяженной выработки зависит от множества факторов, каждый из которых в конкретных условиях вносит определенный вклад. Тем не менее, в целом ряде случаев можно оценивать состояние выработки по какому-либо одному, комплексному параметру.

Таким комплексным, интегральным показателем, который характеризует воздействие внешних факторов на поведение системы «вмещающий массив-обнажение-крепь», может служить смещение контура выработки.

Как отмечается в [2], абсолютная величина смещений на контуре определяет параметры крепи, нагрузку и размеры зоны неупругих деформаций (ЗНД). Кроме того, интенсивность смещений контура указывает на характер проявления горного давления во времени в зависимости от различных факторов.

Кинетика смещений породного контура после проведения выработки может быть разделена на два временных периода. Первый период характеризуется активным процессом трещинообразования и формированием вокруг выработки ЗНД. К концу этого периода интенсивность смещений породного контура снижается, происходит относительная стабилизация деформационных процессов и устанавливается равновесие системы «крепь-массив» (рис. 3, *a*). На рис. 3 этот момент отмечен как t_c – точка стабилизации деформационных процессов.

После видимой стабилизации геомеханических процессов, небольшие смещения контура, могут продолжаться длительное время, что характеризует второй период существования выработки (рис. 3, *б*). Эти деформации можно объяснить влиянием целого ряда внешних факторов: некоторым снижением прочности пород, прилегающих к контуру выработки, в результате воздействия влаги, колеба-

ния температур, разбуханием глинистых частиц и т.д. Кроме того, прочность пород несколько снижается при воздействии на нее длительных нагрузок.

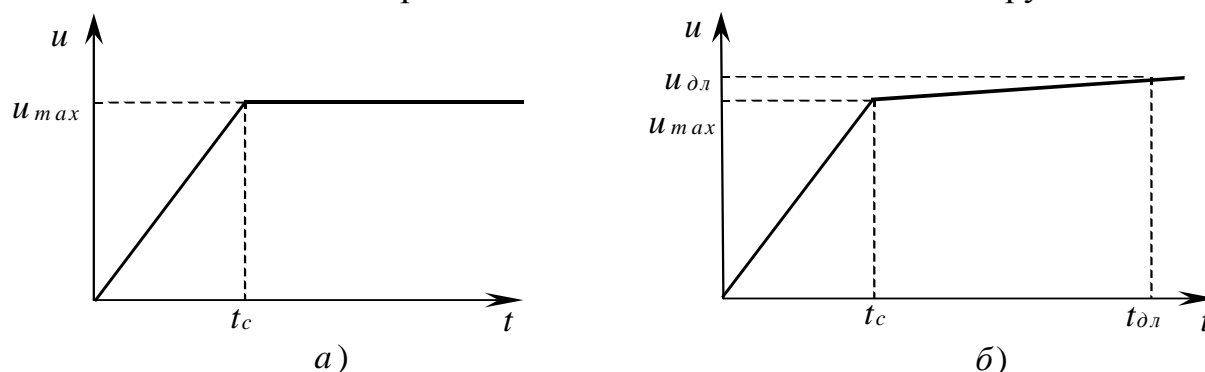


Рис. 3. Зависимость смещений контура выработки от времени

Очевидно, что закономерность смещений контура выработки в этот период будет определять эксплуатационное состояние крепи и выработки в целом.

Анализ и обобщение результатов многочисленных шахтных исследований выполненные в [3] позволили установить, что смещения контура выработки могут быть рассчитаны по формуле:

$$u = 13,5k_n d (a \ln(T) - b) \theta^{(0,9-c)}, \quad (3)$$

где $u = U/R_0$ – относительные смещения контура выработки, U – абсолютные смещения; R_0 – радиус выработки; T – время эксплуатации участка выработки, с момента его проведения, сут.; a и b – коэффициенты, зависящие от θ ; c и d – переменные, зависящие от коэффициента λ ; k_n – коэффициент, учитывающий направление выработки по отношению к простиранию пород и угол наклона пластов.

Зависимости смещений контура выработки во времени от показателя θ показаны на рис. 4. В ходе выполненных исследований было установлено, что рассматриваемые зависимости можно условно разделить на два периода, отличающиеся интенсивностью деформационных процессов в точке, соответствующей времени с момента проведения участка выработки $T = 57$ сут.

Это время от момента проведения выработки можно считать «точкой стабилизации» геомеханических процессов, связанных с образованием вокруг нее своеобразной демпферной зоны – зоны неупругих деформаций таких размеров, которые, при соответствующих параметрах крепи и способах охраны, могут обеспечить длительную устойчивость выработки. При одинаковом сроке для конкретных геомеханических условий формируется ЗНД определенной величины.

Допустим, что к концу первого периода, после стабилизации деформационных процессов и установления равновесия системы «крепь-массив», рассматриваемый участок выработки обладает полной устойчивостью ($\omega \approx 1$). По мере эксплуатации выработки, деформации приконтурного массива будут увеличивать нагрузку на крепь. В силу того, что коэффициент устойчивости вдоль выработки K_s носит случайный характер, в определенных сечениях выработки его величина будет снижаться и приводить к деформированию элементов крепи ($K_s < 1$).

Таким образом, смещения контура выработки u , подчиняющиеся установившемуся закону изменения во времени, будут приводить к снижению устойчивости соответствующего участка выработки $\omega(t) = f(u(t))$. Приняв за $\omega = 1$ момент стабилизации деформационных процессов, запишем:

$$\omega(t) = \frac{1}{\left(\frac{u(t)}{u_c}\right)}, \quad (4)$$

где $u(t)$ – смещения контура выработки, рассчитываемые по ф. (3); u_c – смещения контура выработки в точке стабилизации геомеханических процессов.

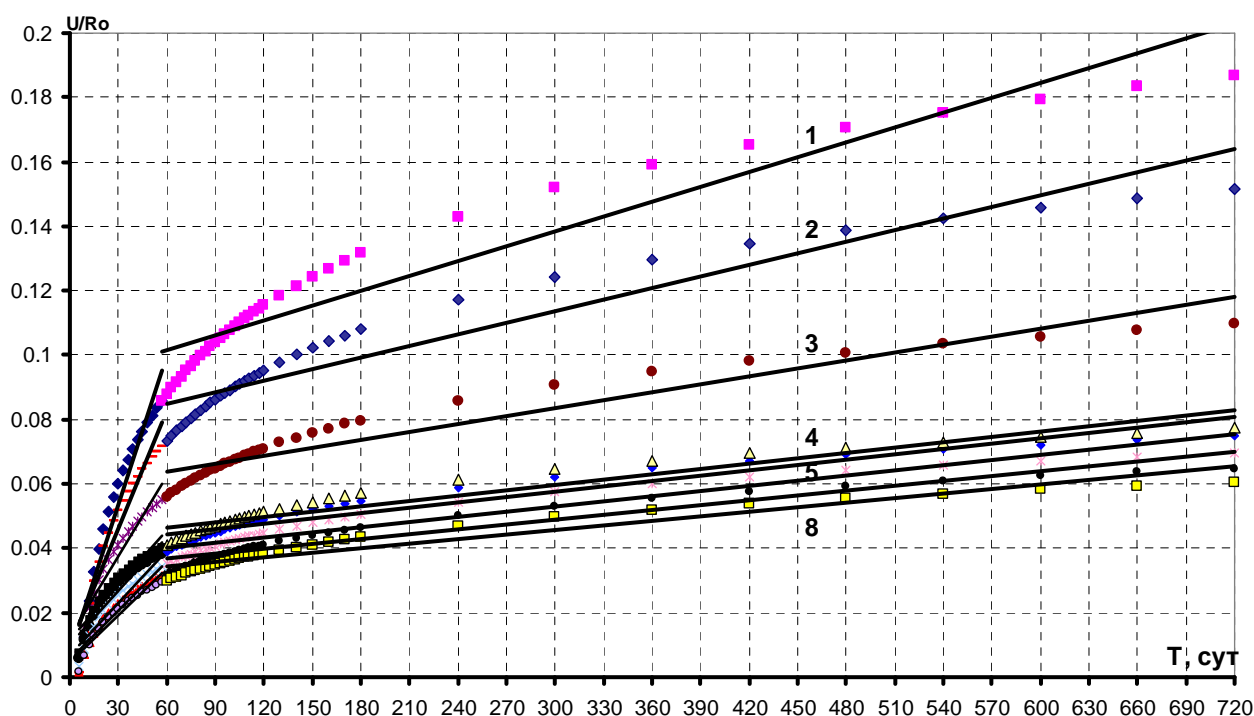


Рис. 4. Зависимости смещений контура выработки от времени ее эксплуатации при показателе условий разработки θ : 1 – 0,4; 2 – 0,6; 3 – 0,8; 4 – 1,0; 5 – 1,2; 6 – 1,6; 7 – 2,0; 8 – 2,4

Динамика изменения показателя устойчивости выработки ω , рассчитанная по данной формуле показана на рис. 5.

Полученные результаты показывают, что смещения контура выработки определяют эксплуатационное состояние крепи и выработки в целом. Значительные смещения породного контура приведут к существенному снижению устойчивости выработки и увеличению затрат на их ремонт и поддержание.

Поэтому повышение устойчивости выработок должно быть основано на применении способов и средств, направленных на снижение смещений их контура и деформаций приконтурного массива пород. При этом механизм управления состоянием массива в окрестности выработок в условиях возможного образования больших зон деформированных пород должен быть направлен на предупреждение разрушения контура выработки, если этого можно достичь

применением крепей с высокой несущей способностью, или же снижению их разрыхления и смещений с помощью крепей с высокой несущей способностью при ограниченной податливости.

Обязательными условиями применения всех способов повышения устойчивости выработки должны быть следующие.

- окружающий выработку массив сразу же после обнажения необходимо включать в работу системы «крепь-массив» при обеспечении равномерного плотного контакта крепи и породного контура;

- повышенный отпор окружающим породам необходимо обеспечивать техническими средствами, имеющими малую материалоемкость, стоимость и высокие силовые характеристики (анкеры, забутовка, рукава «Буллфлекс» и др.);

- способы обеспечения устойчивости выработки должны в максимальной степени использовать несущую способность приконтурного массива путем повышения эффективности отпора самой крепи и средств усиления;

- конструкция крепи и средства ее усиления должны учитывать негативное влияние несимметричной нагрузки.

Выводы.

Определение оптимальных затрат на строительство и эксплуатацию выработок предполагает выбор соответствующих данным условиям систем крепления с учетом фактора времени. Показатель устойчивости выработки существенно снижается с увеличением смещений контура, что приводит к росту затрат на их поддержание. Поэтому механизм управления состоянием массива в окрестности горных выработок в условиях возможного образования больших зон деформированных пород должен быть основан на предупреждении разрушения контура выработки, если этого можно достичь применением крепей с высокой несущей способностью, или же снижении их разрыхления и смещений с помощью крепей с высокой несущей способностью при ограниченной податливости. Все способы повышения устойчивости выработок должны в максимальной степени использовать несущую способность приконтурного массива и снижать несимметричное влияние внешней нагрузки.

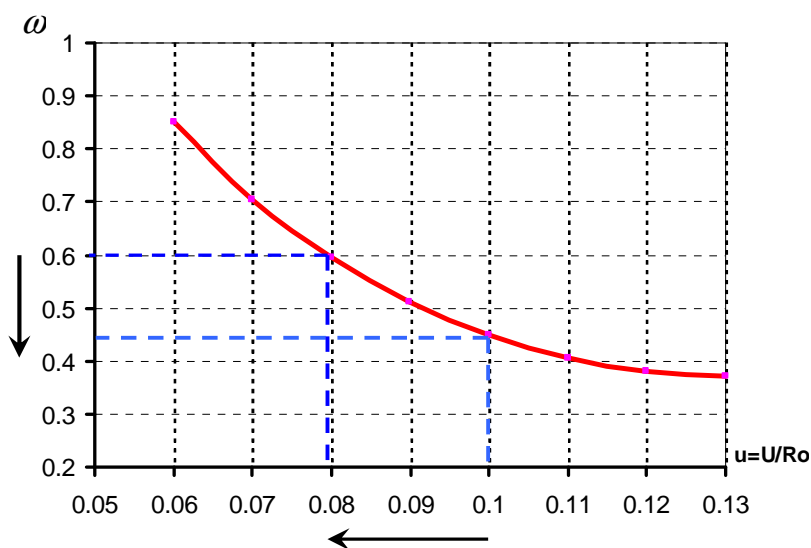


Рис. 5. Зависимость показателя устойчивости, как функция смещений контура выработки, после стабилизации геомеханических процессов

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шашенко А.Н., Сургай Н.С., Парчевский Л.Я. Методы теории вероятностей в геомеханике. – К., Техніка. – 1994. – 216 с.
2. Усаченко Б.М. Свойства пород и устойчивость горных выработок. – Киев: Наукова думка, 1979. – 136 с.
3. Солодянкін О.В. Дослідження зміщень контуру гірничих виробок в шахтних умовах // «Форум гірників-2008»: міжнар. науч.-техн. конф: матеріали. Т. 2. – Дніпропетровськ. – 2008. – С. 199-201.

REFERENCES

1. Shashenko A.N., Surgay N.S., Parchevskiy L.Ya. Methods of theory of chances in a geomechanics. – K.: Tekhnika. – 1994. – 216 p. [in Russian]
2. Usachenko B.M. Properties of rock and stability of the underground working. – Kiev: Naukova dumka, 1979. – 136 p. [in Russian]
3. Solodyankin O.V. Researches of displacements of contour of the underground working are in mine terms // «Forum of mining engineers-2008»: International Conference. T. 2. – Dnipropetrovs'k. – 2008. – P. 199-201. [in Ukrainian]