

the explosion chamber and for which only the minimum inflame energy is known should be considered, the task of converting hazardous parameters of the known energy efficiency in the discharge was set.

Methodology. The existing method of conversion of parameters of control flammable gas mixtures has several disadvantages, which lead to significant errors in calculating of probable values. A new dependence for conversion of the parameters for the other mixture has been designed and the comparative evaluation of the experimental energies of ignition has been carried out. To increase the accuracy of the calculation the influence of the multiplicity of reduction of the minimum ignition energy value of a gas mixture on energy release into a discharge taking into account different electrode spark mechanisms and discharge duration has been figured out.

Findings. Results of calculation of flammable energy have been compared with experimental data listed in normative document GOST R51330.10-99 and those received by V.P. Didenko methodology. It has been found out that

the presented method reduces the error by 22% for IIA group mixtures of and by 35% for IIB group mixtures.

Originality. The analytical method of converting values of the energy and the duration of the discharge determining risk of sparking in explosive environments of subgroups IIA, IIB, IIC at various switching speeds of sparking mechanism has been further developed. In comparison with already known methods it shows more accurate probable data. For the first time the possibility of converting the parameters of flammable explosive mixtures in condition of luck of input information has been proved.

Practical value. Potentialities of the method of assessment of low-voltage electrical chains use in explosion-proof equipment have been broadened and examples of its application for obtaining of flammable options more aggressive than 8.3% methane-air mixture are shown.

Keywords: *flammable energy, explosive mixture, intrinsically safe, discharge time, switching speed*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук
О.П. Ковальовим. Дата надходження рукопису 18.10.11*

УДК 622.1:528.481:622.58

**Г.Ф. Гаврюк, канд. техн. наук, доц.,
Е.В. Беличенко, канд. техн. наук**

Государственное высшее учебное заведение
“Национальный горный университет”, г. Днепропетровск,
Украина, e-mail: elena.belichenko@rbcmail.ru

ПОЛОЖЕНИЕ ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧЕК ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОЛУМУЛЬДЫ ПРИ ПОДРАБОТКАХ В УСЛОВИЯХ ВОДОПОНИЖЕНИЯ

**G.F. Gavriuk, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,
Ye.V. Belichenko, Cand. Sci. (Tech.)**

State Higher Educational Institution “National Mining University”,
Dnipropetrovsk, Ukraine, elena.belichenko@rbcmail.ru

POSITION OF CHARACTERISTIC POINTS OF THE DYNAMIC SEMI TROUGH DURING UNDERMINING IN THE CONDITIONS OF FALL OF WATER TABLE

Цель. Исследование динамических параметров процесса сдвижения над движущимся очистным забоем на Никопольском марганцевом месторождении.

Методика. Выполнение частотных инструментальных наблюдений на наблюдательных станциях на участке главного сечения мульды сдвижения, который до подработки был впереди очистного забоя, а после подработки оказался в плоском дне мульды. Анализ положения точек с максимальными значениями сдвижений и деформаций земной поверхности относительно движущегося забоя в главных сечениях мульды сдвижения.

Результаты. Натурными инструментальными наблюдениями установлено значительное превышение величин максимальных оседаний земной поверхности по отношению к вынимаемой мощности марганцеворудного пласта из-за влияния водопонижения, а также физико-механических свойств вмещающих пород. Предложены формулы для прогнозирования максимальных сдвижений и деформаций земной поверхности в характерных точках динамической полумульды, а также для расчета максимальных сдвижений и деформаций земной поверхности при движущемся забое.

Научная новизна. Исследование положения характерных точек динамической полумульды, возникающей на земной поверхности при подработках в условиях предварительного водопонижения.

Практическая значимость. Установление положения точек динамической полумульды с максимальными значениями величин сдвижений и деформаций земной поверхности позволяет выбирать наиболее эффективные меры охраны подрабатываемых зданий и сооружений.

Ключевые слова: *наблюдательная станция, частотные инструментальные наблюдения, динамическая полумульда, деформации земной поверхности*

Защита зданий и сооружений от вредного влияния подземных разработок имеет важное значение,

т.к. в оставленных целиках под застроенными территориями теряются значительные запасы полезных ископаемых. В то же время под многими объектами, такими как различные здания, сооружения, железные дороги и высотные объекты, можно извлекать полез-

ное ископаемое при использовании мер защиты во время подработки.

До настоящего времени на различных месторождениях еще недостаточно изучено развитие процесса сдвига земной поверхности во времени над движущимся очистным забоем [1]. Известно, что меры охраны подрабатываемых сооружений и объектов выбираются в зависимости от величин деформаций земной поверхности.

Исследования динамических параметров процесса сдвига над движущимся очистным забоем на Никопольском марганцевом месторождении проводились путем производства частотных инструментальных наблюдений на наблюдательных интервалах между наблюдениями от 2 до 10 дней.

Условия подработки наблюдательных станций были следующими: мощность марганцевородного пласта – 2,0–3,1 м, глубина разработки – 75–100 м, управление горным давлением – полное обрушение, скорость подвигания очистного забоя – 10–60 м/мес.

Результаты проведенных исследований относятся к тому участку главного сечения мульды по направлению движения забоя, который до подработки был впереди очистного забоя, а после подработки оказался в плоском дне мульды.

Следует отметить, что ведение очистных горных работ на шахтах осложнено наличием в толще горных пород нескольких водоносных горизонтов (как безнапорных, так и напорных).

Основным источником обводнения шахтных горных выработок является нижнесарматский водоносный горизонт. Этот горизонт напорный, величины напоров, в среднем, составляют от 8 до 15 м и более. Он представлен мелкозернистыми песками мощностью 3–4 м, местами до 10 м. Горизонт надрудный, водоносные пески отделены от марганцевородного пласта глинами мощностью от 5 до 20 м. Питание горизонта осуществляется на большой площади, выходящей далеко за пределы шахтных полей. Водоприитоки из нижнесарматского водоносного горизонта на шахтах колеблются в широких пределах – от 5,5 до 70 м³/ч. Наличие такого количества воды в толще горных пород является значительным препятствием при разработке месторождения. Поэтому, с целью предотвращения прорывов воды в горные выработки, перед началом ведения очистных горных работ проводится предварительное снижение пьезометрических уровней водоносных горизонтов на участках, намечаемых к разработке выемочных столбов, при помощи восстанавливающих скважин, пробуренных из подготовительных горных выработок.

Анализ данных натуральных инструментальных наблюдений позволяет заключить, что максимальные сдвиги и деформации земной поверхности зависят от следующих основных факторов: мощности рудного пласта, глубины ведения очистных работ, размеров выработанного пространства, степени водопонижения на подрабатываемых участках, физико-механических свойств вмещающих горных пород. При этом влияние глубины разработки отдельно не исследовалось, в на-

стоящей статье рассматриваются только условия полной подработки земной поверхности.

Известно, что в существующих методиках расчета сдвигов и деформаций [2,3] важнейшим показателем является величина максимального оседания земной поверхности, от определения которой, в значительной степени, зависит точность прогнозируемых сдвигов и деформаций.

Натурными инструментальными наблюдениями, выполненными сотрудниками кафедры маркшейдерии на наблюдательных станциях, было установлено значительное превышение величин максимальных оседаний земной поверхности по отношению к вынимаемой мощности марганцевородного пласта (до 1 м и более).

Общее максимальное оседание земной поверхности для Никопольского марганцевого месторождения, в условиях водопонижения при полной подработке, рекомендуется вычислять по следующей формуле [4]

$$\eta_{0o} = \eta_{0z} + \eta_{0e}$$

или

$$\eta_{0o} = q_0 m + \Delta \sigma_{\gamma} \sum_{i=1}^n k_i h_i, \quad (1)$$

где η_{0z} – максимальное оседание, вызванное очистными горными работами, м; η_{0e} – максимальное оседание, вызванное водопонижением, м; q_0 – относительная величина максимального оседания (для месторождения со слабыми вмещающими породами равно 0,9); m – вынимаемая мощность пласта, м; $\Delta \sigma_{\gamma} = (H_1 - H_2) \gamma$ – величина эффективных напряжений вследствие водопонижения, кг/м²; $k_i = a_i / (1 + \varepsilon_i)$ – коэффициенты, учитывающие физико-механические свойства подрабатываемой породной толщи (сжимаемость a_i и пористость ε_i); h_i – вертикальные мощности породных слоев.

Таким образом, выражение (1) позволяет определять величины конечных осадок толщи горных пород, с учетом их физико-механических свойств, при известной величине водопонижения. Максимальные деформации развиваются в главных сечениях мульды, где обычно образуются несколько максимумов. Характерными точками в динамической полумульде будут следующие (рисунок).

Положения характерных точек (1', 2', ... 9') относительно линии движущегося забоя, в зависимости от глубины разработки H , приведены в табл. 1.

Известно [1], что величины сдвигов и деформаций земной поверхности в движущейся полумульде зависят от вынимаемой мощности пласта m и от глубины разработки H . В данном случае вместо параметра m удобнее будет оперировать величиной общего максимального оседания η_{0o} , поскольку она учитывает и вынимаемую мощность рудного пласта, и возможную осадку породной толщи вследствие водопонижения.

Максимальные сдвиги и деформации земной поверхности, полученные по результатам наблюдений и

усредненные для месторождения в целом, рекомендуется вычислять по формулам, приведенным в табл. 2.

Таблица 1

Положение характерных точек в движущейся полумульде относительно линии очистного забоя в зависимости от глубины разработки H (рис. 1)

№ наблюд. станций	Номера характерных точек								
	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'	9'
№2	$0,82H$	$-0,69H$	0	$0,23H$	$-0,30H$	0	$-0,46H$	$0,20H$	$-0,23H$
№4	$0,81H$	$-0,65H$	$-0,04H$	$0,26H$	$-0,38H$	$-0,05H$	$-0,52H$	$0,17H$	$-0,27$
Средние значения	$0,82H$	$-0,67H$	$-0,02H$	$0,24H$	$-0,34H$	$-0,02H$	$-0,49H$	$0,18H$	$-0,25H$

Примечание: Знак „-“ означает, что точка расположена позади движущегося забоя; 0 – точка расположена над движущимся забоем.

Таблица 2

Параметры для расчета максимальных сдвигов и деформаций земной поверхности при движущемся забое

№ наблюдательных станций	Максимальный наклон, $i_{0\partial}, 10^{-3}$	Максимальная кривизна		Максимальное горизонтальное сдвижение $\xi_{0a}, м$	Максимальная горизонтальная деформация	
		Выпуклости, $+k_{0\partial}, 10^{-3}1/м$	Вогнутости, $-k_{0\partial}, 10^{-3}1/м$		Растяжения, $\mathcal{E}_{0p\partial}, 10^{-3}$	Сжатия, $\mathcal{E}_{0c\partial}, 10^{-3}$
№ 2	$1,74 \frac{\eta_{0o}}{H}$	$5,12 \frac{\eta_{0o}}{H^2}$	$-3,85 \frac{\eta_{0o}}{H^2}$	$0,20\eta_{0o}$	$0,73 \frac{\eta_{0o}}{H}$	$-0,72 \frac{\eta_{0o}}{H}$
№ 4	$1,68 \frac{\eta_{0o}}{H}$	$5,42 \frac{\eta_{0o}}{H^2}$	$-3,39 \frac{\eta_{0o}}{H^2}$	$0,20\eta_{0o}$	$0,73 \frac{\eta_{0o}}{H}$	$-0,65 \frac{\eta_{0o}}{H}$
Принятые по месторождению	$1,71 \frac{\eta_{0o}}{H}$	$5,27 \frac{\eta_{0o}}{H^2}$	$-3,62 \frac{\eta_{0o}}{H^2}$	$0,20\eta_{0o}$	$0,73 \frac{\eta_{0o}}{H}$	$-0,68 \frac{\eta_{0o}}{H}$

Примечание: условные обозначения см. в тексте

Анализом данных инструментальных наблюдений было установлено, что максимальные наклоны земной поверхности и максимальные горизонтальные сдвиги во всех случаях приурочены к линии очистного забоя (точки 8', 6'). Величина „зависания“ пород над выработанным пространством весьма незначительна и практически составляет 0–0,02H. Учитывая погрешности при определении положения этих точек, такими величинами можно пренебречь. К точкам 3', 6' приурочены также нулевые значения кривизны и горизонтальных деформаций.

Необходимо отметить некоторую асимметричность расположения точек с максимальными значениями кривизны (точки 4', 5') и максимальными значениями

растяжений-сжатий (точки 8', 9') относительно движущегося забоя.

Отмечается большая удаленность от забоя точек с отрицательными значениями деформаций (точки 5', 9'), что, вероятно, объясняется затуханием процесса сдвиги позади движущегося забоя.

Авторы работы [1] отмечают, что в условиях Западного Донбасса наблюдаются неравномерности сдвиги точек во времени в динамической полумульде. При этом максимальные сжатия земной поверхности при движущемся забое зависят от мощности пласта и глубины разработки.

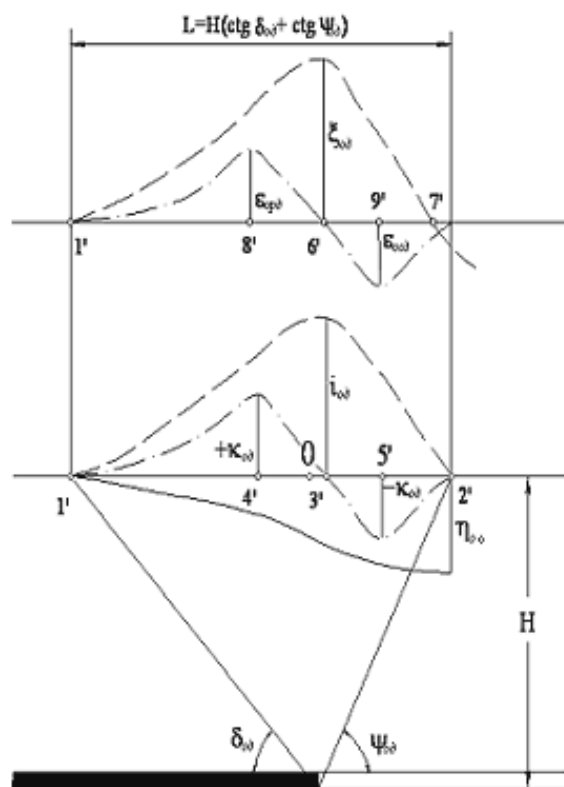


Рис. Схема к определению характерных точек в динамической полумульде: 0 – проекция положения линии движущегося очистного забоя; 1' – точка границы полумульды; 2' – точка максимального оседания или начала полумульды; 3' – точка максимального наклона или точка перегиба кривой оседания; 4' – точка максимальной кривизны выпуклости (точка максимальной положительной кривизны); 5' – точка максимальной кривизны вогнутости (точка максимальной отрицательной кривизны); 6' – точка максимального горизонтального сдвижения; 7' – точка нулевых горизонтальных сдвижений; 8' – точка максимального растяжения; 9' – точка максимального сжатия

Анализируя положение точек с максимальными значениями сдвижений и деформаций земной поверхности относительно движущегося забоя для условий Никопольского месторождения, можно сделать следующие выводы:

- точка максимального наклона (точка перегиба кривой оседания) практически совпадает в плане с точкой максимального горизонтального сдвижения и приурочена к линии движущегося забоя, эффект „зависания“ пород над выработанным пространством весьма незначительный $0-0,02H$ и при этом соизмерим с точностью определения положения характерных точек;

- точки максимальной кривизны выпуклости и максимального растяжения расположены впереди движущегося забоя на расстояниях $0,18H - 0,24H$;

- точки максимальной кривизны вогнутости и максимального сжатия расположены позади движущегося забоя на расстояниях $0,25H - 0,34H$;

- в динамической полумульде максимальные деформации превышают статические в среднем на следующие величины: наклоны – на 24–34%, кривизна – на 26–58%, горизонтальные деформации – на 13–18%;

- максимальные горизонтальные сдвижения, при закончившемся процессе сдвижения, больше динамических примерно на 50–70%;

- процесс формирования горизонтальных сдвижений в динамической полумульде имеет отличительные особенности и требует дальнейших исследований.

Полученные закономерности следует учитывать при проектировании мер по охране сооружений от вредного влияния подземных разработок.

Список литературы / References

1. Сдвигение горных пород и земной поверхности при подземных разработках / [Букринский В.А., Орлов Г.В. и др.]; под ред. В.А.Букринского и Г.В.Орлова. – М.: Недра, 1994. – 247 с. ил., табл. – Библиогр.: с.243–244.

2. Bukrinskiy, V.A. and Orlov, G.V. (1994), *Sdvizhenie gornykh porod i zemnoy poverkhnosti pri podzemnykh razrabotkakh* [Earth Surface and Rock Shifting Caused by Underground Mining], Nedra, Moscow, Russia.

3. ГСТУ 101.00159226.001–2003. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом. – Офіц. вид. – К.: Мінпаливенерго України, 2004. – 128 с.: ил., табл. – (Галузевий стандарт України).

4. GSTU 101.00159226.001–2003. “Regulations on undermining of buildings, constructions and natural objects during coal production”. Official edition of Minpalyvernerho Ukrayiny, (2004), Kyiv, 128 p. (*Haluzeviy standart Ukrayiny*).

5. Лисица И.Г. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на Никопольском марганцевом месторождении / Лисица И.Г., Антипенко Г.А., Гаврюк Г.Ф. – Днепропетровск, 1985. – 38 с. ил., табл. – (Нормативный документ Министерства черной металлургии УССР. Инструкция).

6. Lisitsa, I.G., Antipenko, G.A. and Gavryuk, G.F. (1985), *Pravila okhrany sooruzheniy i prirodnykh obyektov ot vrednogo vliyaniya podzemnykh razrabotok na Nikopolskom margantsevom mestorozhdenii*, Dnepropetrovsk, 38 p. (normative document of Ministry of Iron Industry of USSR. Instructions).

7. Лисица И.Г. Особенности процесса сдвижения земной поверхности при разработке Никопольского месторождения / Лисица И.Г., Антипенко Г.А., Гаврюк Г.Ф. // Разработка месторождений полезных ископаемых. Вып. 91 – К.: Техніка, 1992. С.38–43.

8. Lisitsa, I.G., Antipenko, G.A. and Gavryuk, G.F. (1992), “Characteristics of earth surface shifting caused by development of Nikopol manganese ore deposit”, *Ra-*

zrobotka mestorozhdeniy poleznykh iskopaemykh, Issue.91, Kyiv, Tekhnika, pp. 38–43.

5. Медянцеv А.Н. Расчет границы влияния подземных выработок на земную поверхность при неполной подработке / А.Н. Медянцеv, В.И. Полонский // Изв. Северо-Кавказского научного центра высшей школы. – 1994, №4. – С.17–19.

Mediantsev, A.N. and Polovskiy, V.I. (1994), “Estimation of spreading of underground excavation work influence on earth surface during partial undermining”, *Izv. Severo-Kavkazskogo nauchnogo zentra visshyey shkoly*, no.4. pp. 17–19.

Мета. Дослідження динамічних параметрів процесу зрушення над очисним вибоєм, що рухається в умовах Нікопольського марганцевого родовища.

Методика. Виконання частотних інструментальних спостережень на спостережних станціях на ділянці головного перерізу мульди зрушення, що перед підробкою був попереду очисного вибою, а після підробки опинився в пласкому дні мульди. Аналіз положення точок з максимальними значеннями зрушень і деформацій земної поверхні відносно вибою, що рухається в головних перерізах мульди зрушення.

Результати. Натурними інструментальними спостереженнями встановлено значне перевищення величин максимальних осідань земної поверхні по відношенню до потужності марганцеворудного пласта, що виймається, від впливу водозниження, а також фізико-механічних властивостей вмшуючих порід.

Наведено формули для прогнозування максимальних зрушень і деформацій земної поверхні в характерних точках динамічної напівмульди, а також для розрахунку максимальних зрушень і деформацій земної поверхні з урахуванням вибою, що рухається.

Наукова новизна. Дослідження положення характерних точок динамічної напівмульди, що виникає на земній поверхні при підробках в умовах попереднього водопониження.

Практична значущість. Визначення положення точок динамічної напівмульди з максимальними значеннями величин зрушень і деформацій земної пове-

рхні, дозволяє обирати найбільш ефективні міри охорони будівель і споруд, що підроблюються.

Ключові слова: спостережна станція, частотні інструментальні спостереження, динамічна напівмульда, деформації земної поверхні

Purpose. To determine dynamic parameters of displacement process above a moving production face in the Nikopol manganese ore deposit

Methodology. Frequency instrumental monitoring has been held at observation stations which had been placed in the main section of semi trough before mining face and after undermining had appeared in the flat bottom of semi trough. Position of points with the maximum values of displacement and deformations of the earth surface relative to the moving face in the main section of trough has been analyzed.

Findings. Field instrumental observations showed that values of maximum vertical displacement of the earth surface considerably exceed the thickness of mined out manganese ore layer. This was caused by water depression influence and physical and mechanical properties of enclosing rock.

Formulas for forecasting of maximal displacements and deformations of earth surface in distinguished points of dynamic semi trough and for calculation of maximum displacement and deformations of the earth surface above moving face has been offered.

Originality. Research of position of distinguished points of dynamic semi trough arising on the earth surface during undermining in the conditions of preliminary water depression has been carried out.

Practical value. Method of determination of position of distinguished points of dynamic semi trough and maximum values of displacements and deformations allows choosing the most effective protection measures during undermining of buildings and constructions.

Keywords: observation station, frequency instrumental monitoring, dynamic semi trough, deformations of earth surface

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук
О.М. Шаєнком. Дата надходження рукопису 21.10.11*