

УДК 622.1:622.83

Н.А. Бугаёва (ассист.)

Донецкий национальный технический университет

bugayovanatasha@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИИ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ГРАНИЦЫ МУЛЬДЫ СДВИЖЕНИЯ

Выполнен анализ экспериментально полученных данных натуральных наблюдений за сдвижением земной поверхности в широком диапазоне горно-геологических условий. Установлено несоответствие фактических сдвижений и деформаций земной поверхности и границы мульды сдвига с расчетными значениями деформаций и границей мульды. Построены гистограммы разброса положения границ мульды сдвижений. Определен закон распределения гистограммы отклонений границы мульды и получено среднеквадратическое отклонение границы мульды сдвига. Выполнена проверка влияния глубины разработки на отклонение границы фактической мульды сдвига от расчетной. Получено распределение разброса граничных углов при различных длинах полумульд.

Ключевые слова: натурные наблюдения, сдвижения и деформации земной поверхности, границы мульды сдвига, закон распределения, среднеквадратическое отклонение.

Увеличение спроса на высокоэнергетические виды топлива в Украине обуславливает интенсивную обработку угольных пластов Донбасса. Очистные работы на угольных шахтах и рудниках сопровождаются сдвигами массива горных пород и земной поверхности, которые проявляются в различной форме (мульды оседаний, провалы вокруг погашенных стволов, оползни склонов и т.д.) и наносят вред окружающей среде, а также влекут за собой большие экономические потери. В связи с этим постоянно возникает необходимость прогноза оседаний и деформаций земной поверхности, а также определения границ зон влияния очистных работ.

На сегодняшний день основным нормативным документом для расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности, являются «Правила подработки...» [1]. Однако экспериментально многочисленными натурными наблюдениями установлено, что реальная граница мульды сдвига в подавляющем большинстве случаев не совпадает с её расчетным положе-

нием. Этот факт является физическим следствием стохастической природы процесса сдвижения.

Стохастическая природа этого процесса обусловлена случайной вариацией геометрических факторов, погрешностями инструментальных наблюдений, физико-механических свойств и другими менее значимыми факторами.

Неопределенность геометрической группы факторов обусловлена вариацией вынимаемой мощности пласта, размеров выработанного пространства, угла падения пород, определяющий угловые параметры процесса сдвижения и характер распределения деформаций в мульде, рельефа местности, глубины горных работ и др. Исследования показали, что отдельная вариация мощности слоев коренных пород и наносов дает разброс оседаний и деформаций земной поверхности, который не превышает 3-5%. Даже при самых экстремальных искусственно подобранных сочетаниях геометрических факторов разброс оседаний и деформаций земной поверхности не превысил 17%.

Вклад в вариацию величин сдвижений и деформаций земной поверхности вносят погрешности инструментальных наблюдений и устойчивость реперов наблюдательной станции. Однако, например, средняя квадратическая ошибка измерения превышений составляет 5,0 мм на 1 км двойного хода, что несущественно по сравнению с общим разбросом сдвижений. Так при максимальной величине оседаний в центре мульды 1,5 м их разброс может достигать 500 мм с вероятностью 90%.

На вариацию механических показателей массива горных пород в первую очередь влияют прочность пород на сжатие и растяжение, модуль деформации, коэффициент внутреннего трения, сцепление и т.п.

Установлено [8-10], что основную долю (не менее 80%) на влияние разброса фактических сдвижений земной поверхности, и в частности на разброс границы мульды сдвижения, вносит вариация физико-механических свойств. На другие факторы в худшем случае относится не более 20%, хотя при реальных сочетаниях вариаций геометрических и инструментальных факторов доля их участия в разбросе чаще всего находится на уровне 3-5%.

В результате анализа инструментальных наблюдений других исследователей [2-7] и компьютерного моделирования, выполненного автором данной статьи [8-10], было отмечено, что на прогнозной границе мульды расчетные сдвигения и деформации равны нулю, а фактические значения сдвижений и деформаций земной поверхности отличаются от нуля. Можно сделать вывод, что расчетная граница мульды не определяется с абсолютной точностью. В связи с этим необходимо провести дополнительные исследования для уточнения доверительного интервала разброса границы мульды сдвижения и закон распределения разброса сдвижений и деформаций в пределах данного интервала.

На рис. 1 представлен график оседаний и положение границ мульды по данным инструментальных наблюдений (кривая 3). Здесь же кривой 1 показан график оседаний по методике расчета правил 1972 г. Из данного рисунка видно, что левая полумульда, построенная по измеренным данным на 29% больше длины полумульды рассчитанной по правилам 1972 г. Правая часть фактической мульды на 21% больше рассчитанной по правилам. На данном участке наблюдается также отличие рассчитанной полумульды по предлагаемому авторами методу (кривая 2) от расчетной по правилам (кривая 1). Измеренная мульда сдвижения больше, чем мульда, полученная по нормативному документу, а мульда, рассчитанная по предложенному авторами способу, наоборот имеет меньшие размеры.

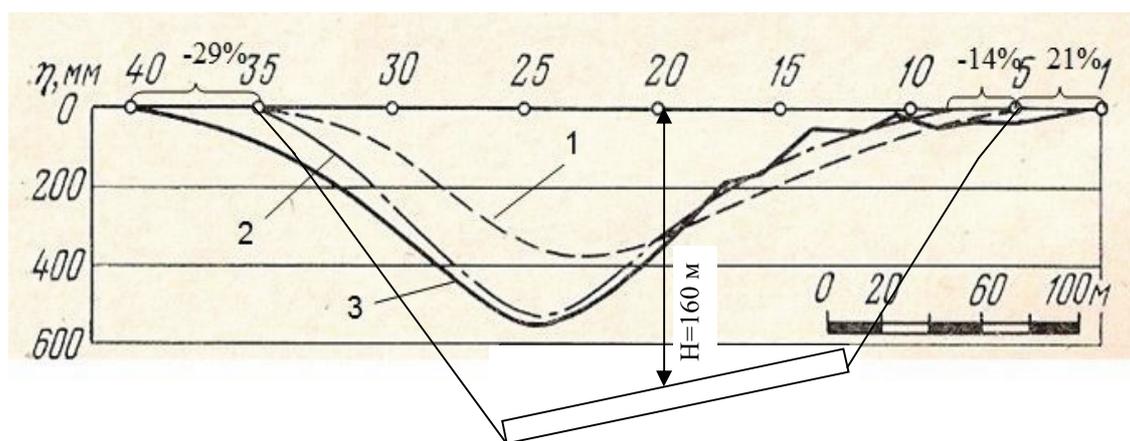


Рис. 1. Графики измеренных и расчетных оседаний:
1 – рассчитанные по правилам 1972 г.; 2 – рассчитанные по предлагаемому авторами способу; 3 – измеренные оседания [2]

На рис. 2 и 3 показаны распределения оседаний и наклонов, по данным публикации [4]. Авторами данной статьи для определения оседаний земной поверхности использовался метод InSAR. Подработка производилась на глубине 550 м, мощность рудной залежи 3,5-4,5 м. Из рис. 2 видно, что граница мульды сдвижения имеет форму близкую к кругу и изолинии оседаний не являются эллипсами для данного выработанного пространства. Таким образом, фактические оседания отличаются от расчетных.

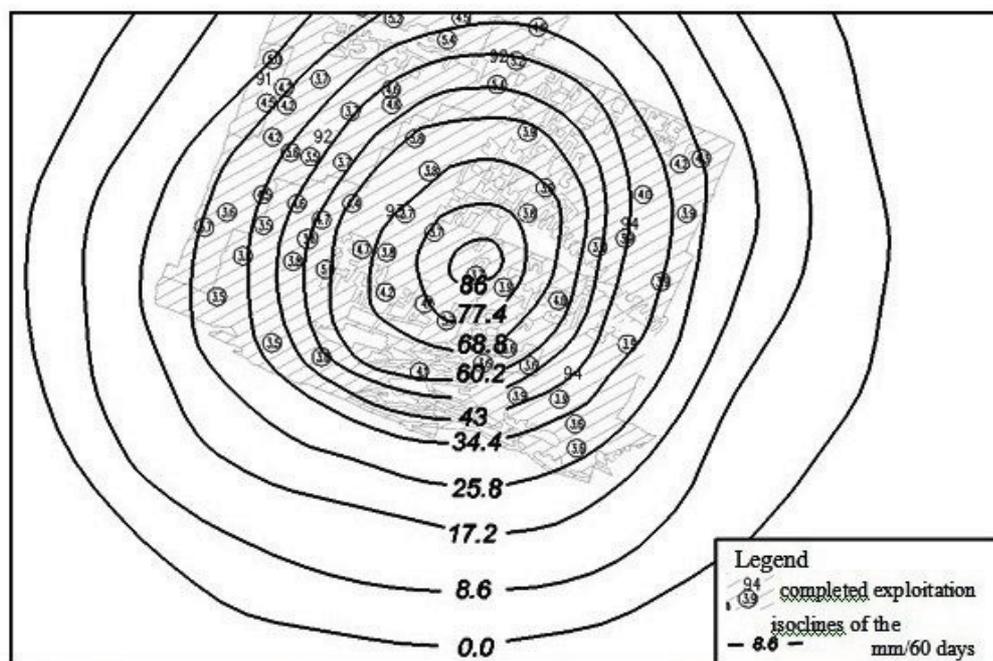


Рис. 2. Изолинии оседаний после завершения подработки [4]

На рис. 3 проиллюстрировано распределение наклонов. В данном случае изолинии чаще всего имеют ломаную форму, а в некоторых случаях принимают нерегулярное положение, например изолинии 0,14 мм/м, 0,22 мм/м, 0,28 мм/м. Граница мульды сдвижения (изолиния 0,06 мм/м) также имеет существенное отклонение от регулярной гладкой эллипсовидной формы. Это свидетельствует о закономерности неопределенности положения границы мульды. Авторами [4] в натуральных условиях подтверждено, что граница мульды сдвижения устанавливается с определенной погрешностью.

Для достоверности результатов были выполнены исследования результатов других авторов [2, 5-7]. На рисунках приведе-

ны графики оседаний по измеренным данным и рассчитанные по нормативным документам или по принятой авторами методике. На всех рисунках измеренные оседания отличаются от расчетных, а также в большинстве случаев наблюдается разница между расчетной границей мульды сдвижения и фактической. В ходе анализа для каждого графика были определены расчетные длины полумульд и вычислены отклонения измеренной полумульды от расчетной длины полумульды в процентном содержании. В результате определено насколько отличается фактическая граница мульды сдвижения (правая и левая) от расчетной мульды. В табл. 1 приведены исходные данные для построения гистограммы распределения разброса положения границ мульд.

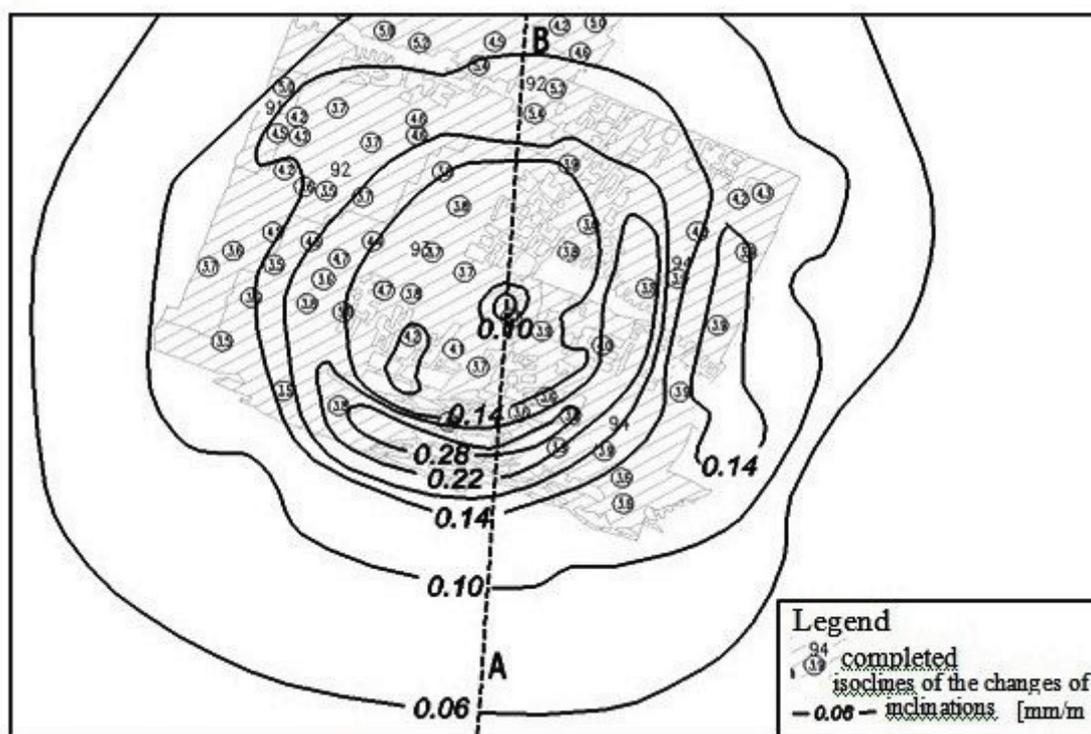


Рис. 3. Изолинии наклонов после завершения обработки [4]

Положительный и отрицательный знаки отклонений измеренной мульды от расчетной свидетельствует об отклонении границы мульды в ту или иную стороны от расчетной.

В итоге построена гистограмма разброса положения границ мульды сдвижений (рис. 4). Оказалось, что гистограмма отклонений фактической границы мульды от расчетной согласуется с

нормальным законом распределения согласно критерию Колмогорова-Смирнова, а среднее квадратическое отклонение при этом составляет 17%. [11].

Таблица 1

Исходные данные для построения гистограмм разброса
границ мульды сдвижения

№ п/п	Наименование шахты	Средняя глубина разработки, м	Длина расчетной полу-мульды, м	Отклонение измеренной полу-мульды от расчетной, м	Отклонение измеренной полу-мульды от расчетной, %
1	«Куйбышевская» п/о «Донецкуголь» [7]	160	155	46	-29
2	«Куйбышевская» п/о «Донецкуголь» [7]	160	155	22	-14
3	«Куйбышевская» п/о «Донецкуголь» [7]	160	155	33	21
4	им. Горького п/о «Донецкуголь» [7]	620	700	80	11
5	им. Горького п/о «Донецкуголь» [7]	620	700	65	-9
6	им. Горького п/о «Донецкуголь» [7]	620	700	161	-33
7	им. Горького п/о «Донецкуголь» [7]	620	700	42	-6
8	им. Горького п/о «Донецкуголь» [7]	620	700	77	-11
9	им. Горького п/о «Донецкуголь» [7]	620	700	140	20
10	им. Горького п/о «Донецкуголь» [7]	620	700	98	-14
11	им. Горького п/о «Донецкуголь» [7]	620	700	63	9
12	им. Горького п/о «Донецкуголь» [7]	620	700	77	-11
13	им. Горького п/о «Донецкуголь» [7]	620	700	161	33
14	им. газеты «Социалистический Донбасс» п/о «Донецкуголь» [7]	662	760	38	5
15	Американские восточные каменноугольные бассейны [5]	800	800	192	24
16	им. Капустина [2]	236	228	19	-8
17	им. Капустина [2]	236	228	19	-8
18	им. Капустина [2]	236	228	19	-8
19	им. Капустина [2]	236	200	58	-29
20	№1 «Центральная» [6]	135	150	10	-7
21	№1 «Центральная» [6]	135	150	5	3
22	№5-6 им. Димитрова [6]	170	186	24	13
23	№5-6 им. Димитрова [6]	170	186	18	10
24	№5-6 им. Димитрова [6]	140	240	14	6
Среднее квадратическое отклонение					17%

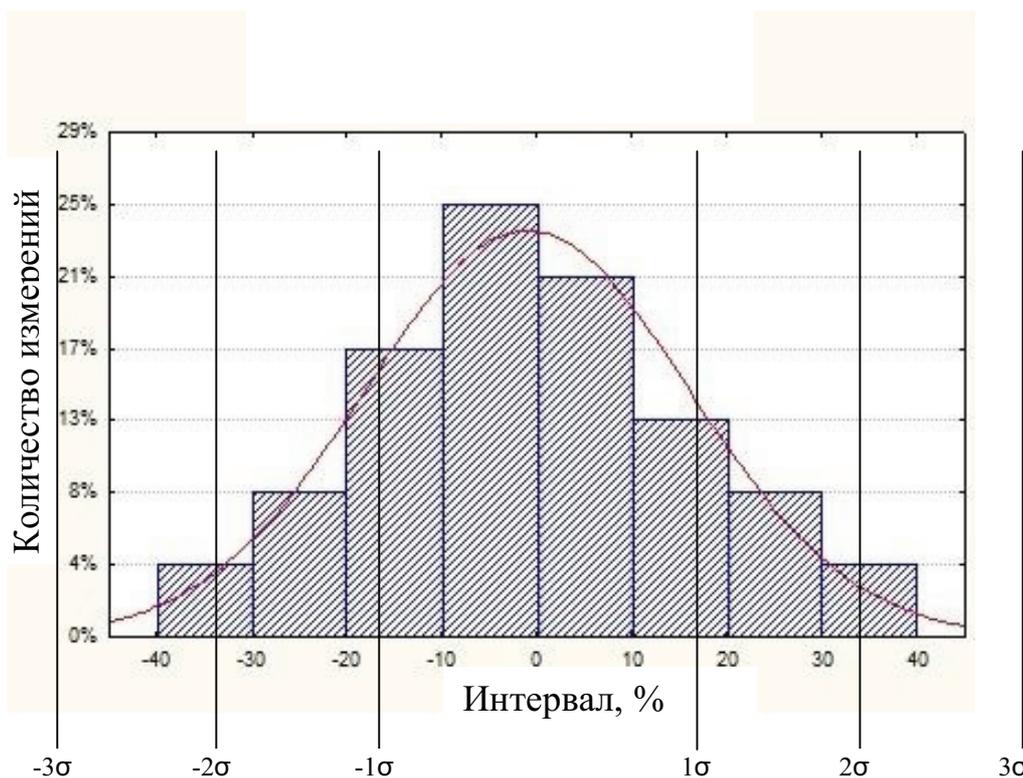


Рис. 4. Распределение разброса положения границы мульды сдвижений

Аналогичные вычисления были выполнены для результатов стохастического моделирования [8-10]. В табл. 2 приведена часть исходных данных.

На рис. 5 показана гистограмма разброса границы расчетной мульды сдвижения от границы мульд, полученных в результате стохастического моделирования. Среднеквадратическое отклонение составляет 18,04%.

Для увеличения выборки исходных данных и повышения достоверности была построена гистограмма разброса границы мульды совместно для результатов других исследователей и стохастического моделирования (рис. 6).

Среднеквадратическое отклонение местоположения фактической мульды сдвижения от расчетной равно $\pm 17,63\%$ от длины полумульды.

На рис. 7 показан график связи глубины разработки и отклонений границы полумульды. Из данного графика видно, что показатель тесноты связи составляет 0,021. Глубина разработки

угольного пласта несущественно влияет на разброс границы полумульды.

Таблица 2

Исходные данные для определения отклонений стохастических границ мульды от расчетных значений

№ п/п	Длина расчетной полумульды, м	Отклонение стохастической полумульды от расчетной, м	Отклонение стохастической полумульды от расчетной, %
1	200	4	2
2	200	52	26
3	200	20	10
4	200	4	2
5	200	32	16
6	200	40	20
7	200	28	14
8	200	4	2
9	200	36	18
10	200	52	26
11	200	4	2
12	200	12	6
13	200	28	14
14	200	60	30
15	200	4	2
16	200	16	8
17	200	4	2
18	200	44	22
19	200	52	26
20	200	60	30
21	200	4	-2
22	200	24	-12
23	200	4	-2
24	200	24	-12
25	200	4	-2
26	200	56	-28
...
Среднеквадратическое отклонение			18,04%

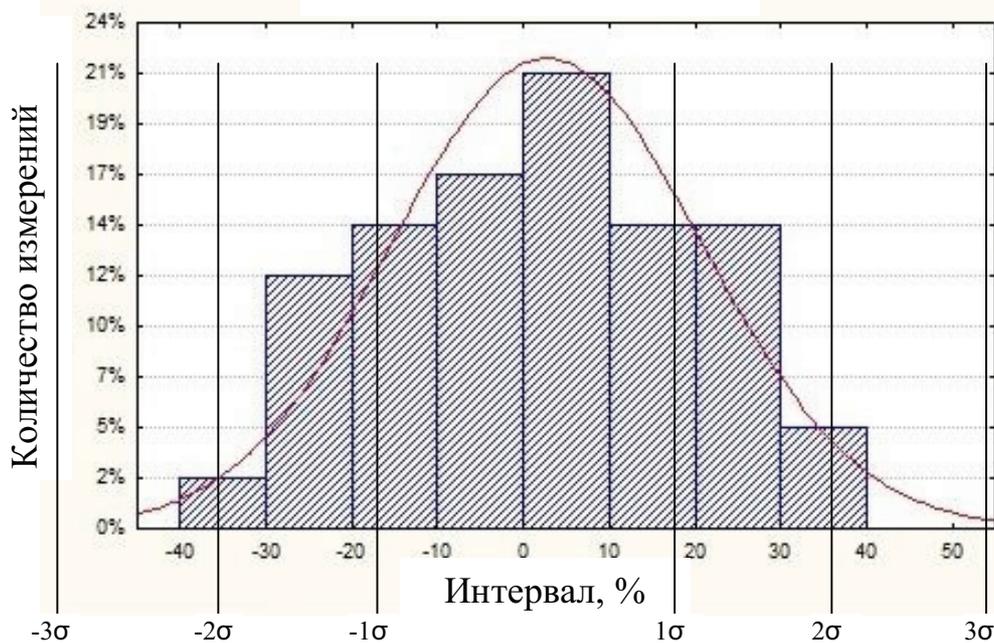


Рис. 5. Распределение разброса положения границы мульды сдвижений по результатам моделирования

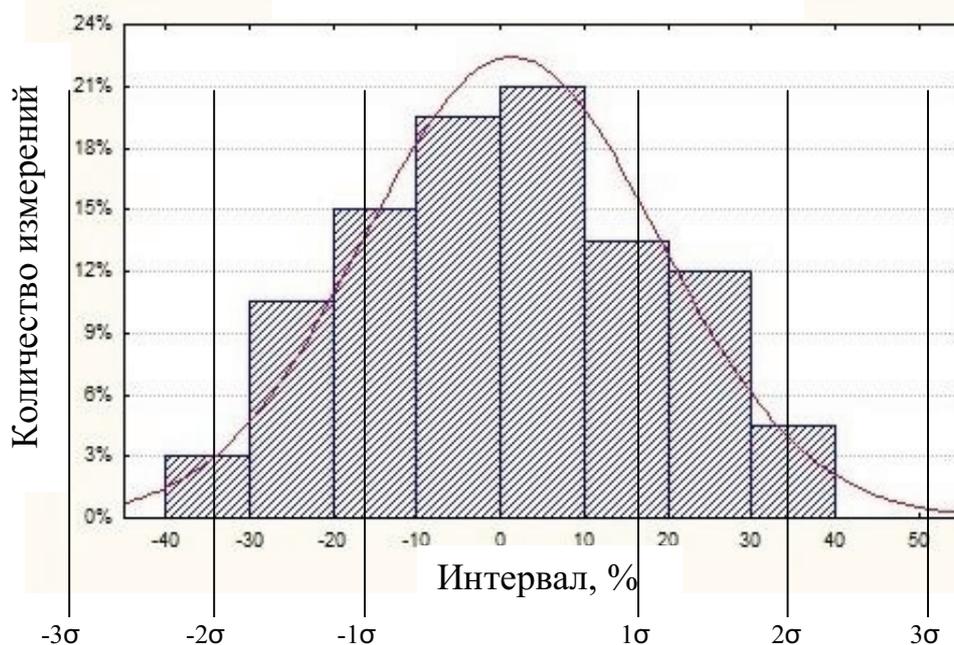


Рис. 6. Распределение разброса положения границы мульды сдвижений совместно по результатам моделирования и других исследователей

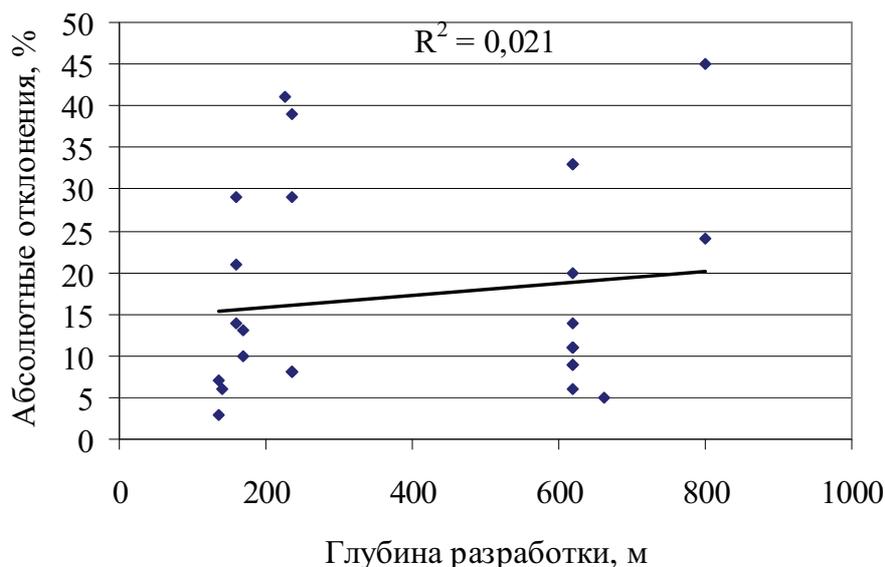


Рис. 7. График связи глубины разработки и отклонения фактической границы полумульды от расчетной

Основываясь на отклонениях измеренной полумульды от расчетной, были пересчитаны длины полумульд и соответственно граничные углы. По значениям данных граничных углов была построена гистограмма разброса граничных углов при разных длинах полумульд (рис. 8). При этом исходные данные были следующие: глубина разработки 400 м, угол падения 0° , длина полумульды составляет 200 м, граничный угол $\delta=70^\circ$.

Оказалось, что гистограмма отклонений граничных углов согласуется с нормальным законом распределения согласно критерию Колмогорова-Смирнова. Отклонение составляет 14° (20%) в большую сторону и 12° (17%) в меньшую сторону от граничного угла $\delta=70^\circ$ с достоверностью 99%. Среднеквадратическое отклонение при этом составляет 5,6% [11].

В результате были установлены закономерности деформаций земной поверхности с учетом стохастической природы процесса его разрушения при подземной разработке. Доказано, что не менее 80% разброса сдвижений и деформаций земной поверхности, а также положения границы мульды сдвижения обуславливает вариация механических свойств массива горных пород. Среднее квадратическое от-

клонение места положения границы равно $\pm 17\%$ длины полумульды. Установленные закономерности имеют важное значение для безопасной эксплуатации объектов, подрабатываемых очисными работами.

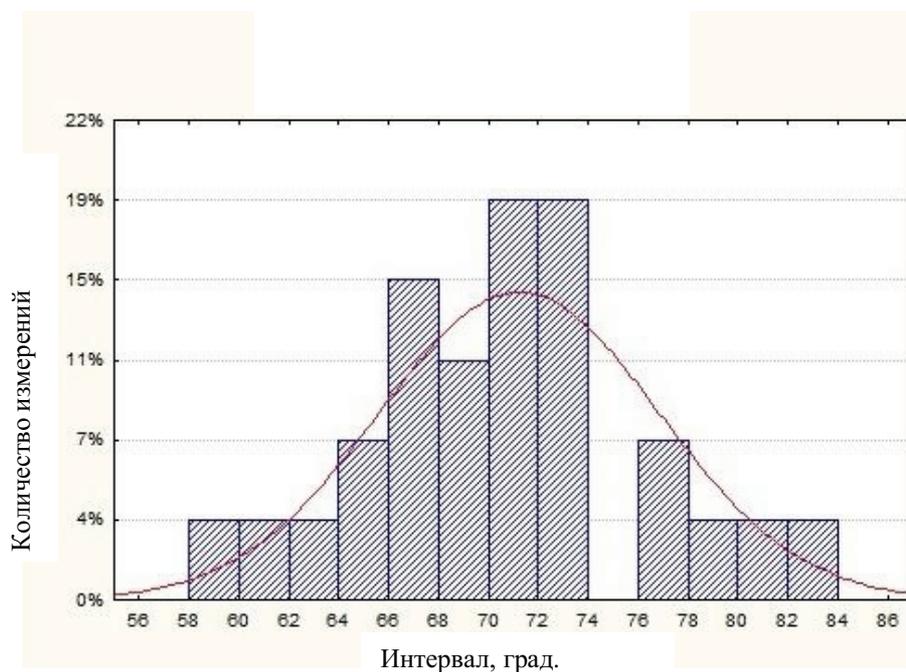


Рис. 8. Распределение разброса граничных углов при различных длинах полумульд

Список литературы

1. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом: ГСТУ 101.00159226.001 – 2003: Введ. 01.01.2004. – К, 2004. – 128 с.
2. Сдвижение горных пород и земной поверхности при подземных разработках; под общей ред. В.А. Букринского и Г.В. Орлова. – М.: Недра, 1984. – 247 с.
3. Кулибаба С.Б. Анализ распределения оседаний земной поверхности в краевой части мульды сдвижения / С.Б. Кулибаба // ПРОБЛЕМИ ГІРСЬКОГО ТИСКУ. – 2003. – Вип. 10. – 227 с.
4. Popiolek E. Experience of application insar technology in Poland mining industry / E. Popiolek, A. Krawczyk // International Society for Mine Surveying. XIII International Congress. – Budapest. - 2007. - 1 CD-ROM.
5. Agioutantis Z. Developing improved methods of predicting surface displacements due to underground mining through the integration of empirical indices into numerical modeling / Z. Agioutantis, M. Karmis // Mining Science and Technology. – Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V. – 1988. – 7. – P. 133-148.

6. Колбенков С.П. Способы расчета деформации земной поверхности в угольных бассейнах и практическое их использование в маркшейдерском деле / С.П. Колбенков // Труды Всесоюзного научно-технического совещания по маркшейдерскому делу. – М.: Углетехиздат, 1958. – С. 251-264.

7. Заложить наблюдательные станции, провести инструментальные наблюдения за деформациями земной поверхности при дискретном характере процесса сдвижения и при разработке пластов на большой глубине: отчет о НИР (промежуточный): 0205 / Украинский филиал Всесоюзного научно-исследовательского института горной геомеханики и маркшейдерского дела (ВНИМИ); отв. исполн. Чепенко Л.П. [и др.]. – 1977. – 113 с.

8. Бугаёва Н.А. Особенности распределение стохастических отклонений оседаний земной поверхности при её подработке одиночной лавой / Н.А. Бугаёва, В.В. Назимко // Проблемы гірського тиску. – 2008. – Вип. 16. – С. 194-237.

9. Бугаёва Н.А. Определение параметров деформаций земной поверхности по стохастическим мульдам оседания / Н.А. Бугаёва, Е.В. Яремчук, В.В. Назимко // Проблемы гірського тиску. –2009. – Вип. 17. – С. 192-225.

10. Бугаёва Н.А. Научные основы стохастического прогноза деформаций земной поверхности при её подработке / Н.А. Бугаёва // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. «Гірничо-геологічна». – 2011. – № 13 (178). – С. 63-69.

11. Румшинский Л.З. Элементы теории вероятностей / Л.З. Румшинский. – 5-е изд., перераб. – М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1976. – 240 с.

Стаття надійшла до редакції 28.10.2012.

Рекомендовано до друку д-ром техн.наук В.О. Назаренко

Н.А. Бугайова

Донецький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРІАЦІЇ МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ ГРАНИЦІ МУЛЬДИ ЗРУШЕННЯ

Виконано аналіз експериментально отриманих даних натурних спостережень за зрушенням земної поверхні у широкому діапазоні гірничо-геологічних умов. Встановлено невідповідність фактичних зрушень і деформаций земної поверхні і границі мульди зрушення з розрахунковими значеннями деформаций і границею мульди. Побудовані гістограми розкиду положення границь мульди зрушення. Визначено закон розподілу гістограми відхилень границі мульди і отримано середньоквадратичне відхилення границі мульди зрушення. Виконана перевірка впливу глибини розробки на відхилення границі фактичної мульди зрушення від розрахунко-

вої. Отримано розподіл розкиду граничних кутів при різних довжинах напівмульди.

Ключові слова: натурні спостереження, зрушення та деформації земної поверхні, границі мульди зрушення, закон розподілу, середньоквадратичне відхилення.

N.A. Bugayova

Donetsk National Technical University

A STUDY OF THE VARIATION OF SUBSIDENCE MOULD BOUNDARIES LOCATION

This paper is an analysis of experimentally obtained field data for the surface displacement in a wide range of geological conditions. We have found out that actual earth surface displacements/ deformations and subsidence mould boundaries do not agree with calculated deformation values and the mould boundary. The paper provides scatter histograms of subsidence mould boundaries location. We have defined the law of mould boundary deviations histogram distribution and obtained the standard deviation of subsidence mould boundary. We also studied the influence of mining depth on the deviation of the actual subsidence mould boundary from the calculated one and obtained the distribution of boundary angles scatter at different lengths of half-moulds.

Keywords: field observations, displacements and deformations of the earth's surface, mould subsidence boundaries, law of distribution, standard deviation.