© И.М. Мирошниченко, 2006

УДК 622.1

И.М. Мирошниченко

АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ ЛИКВИДАЦИИ ШАХТ В ВОСТОЧНОМ ДОНБАССЕ

Семинар № 2

В настоящее время, в связи с массовым закрытием и затоплением угольных шахт и разрезов, коренным образом изменилась гидрогеомеханическая обстановка в угледобывающих регионах. В выработанном пространстве и в разуплотненных породах скопились многие миллионы кубических метров подземных и шахтных вод, миграция которых происходит не только в вертикальном направлении, но и на значительные расстояния, по площади. Отсюда возникают опасности прорывов воды в горные выработки, подобные тем, какие произошли на шахте «Западная-Капитальная» на участках сопряжений вертикальных стволов с выработками, пройденными по пласту k_2^1 Несветаевский. В связи с затоплением выработанного пространства по этому пласту прилегающие к стволам участки выработок были в 1999-2000 гг. затампонированы глиноцементным раствором через специально пробуренные с поверхности скважины.

На вентиляционном стволе № 1 прорыву воды (17.01.03) предшествовал вывал бетонной крепи с последующим размывом канала и увеличением водопритока на этом участке с 10 до 30000 м^3/час (с 17.01.03 по 03.02.03).

Прорыв воды в скиповой ствол № 2 (23.10.03) произошел неожиданно с большим начальным дебитом - до 25000 м^3/час. Показательно, что замерами, произведенными в предыдущий период, была отмечена стабилизация притока воды в ствол, а непосредственно перед прорывом даже его снижение.

После прорыва воды производилась засыпка крупнообломочным песчаником и щебнем главного ствола №2. Работы эти велись до момента проявления признаков оседания поверхности вокруг шейки главного ствола №2. В процессе засыпки ствола периодически наблюдался уход породы в околоствольные выработки. Общий объём засыпки, отгруженной в ствол, достиг 16 тыс. м^3. В итоге было засыпано 120 м ствола. В дальнейшем произошло оседание поверхности с образованием воронки на месте устья главного ствола №2 глубиной 30-35 м и диаметром 50 м [1] с падением в неё копра и части здания ДСО обогатительной фабрики «Несветай» (см. рис. 1).

В результате вышеизложенного можно сделать вывод, что опасности прорывов воды подвергаются не только угольные предприятия, работающие в непосредственной близости от затопленных шахт и разрезов, но и угольные предприятия, расположенные на определенном удалении от них. Анализируя возникшую ситуацию можно прийти к выводу, что поскольку шахта «Западная-Капитальная» сбита горными выработками с соседними шахтами им. Ленина и «Комсомольская правда», было принято решение о закрытии и этих двух шахт, что поставило под угрозу существование самого города Новошахтинска, так

Рис. 1. Провал главного ствола №2 шахты «Западная-Капитальная»

как эти три шахты являются его градообразующими.

Следовательно, если шахты «Западная», «Комсомольская правда» и шахта им. Ленина будут полностью затоплены, то далее шахтные воды будут поступать через выработки ликвидируемой шахты «Юбилейная» в шахту «Аютинская-бис» на совмещенные участки выемки пластов степановской свиты.

На сегодняшний день в результате ликвидации шахт возникают проблемы не только с затоплением соседних шахт, но также со сложной обстановкой на поверхности.

К наиболее опасным событиям, произошедшим на ликвидируемых шахтах Восточного Донбасса можно отнести следующие: провалы, трещины, подтопление территорий, загрязнение водоносных горизонтов, выделение углекислого газа на поверхность.

Так в день аварии на шахте «Западная-Капитальная» в г. Шахты был зафиксирован прорыв водовода со смещением в виде ступенчатого изгиба (см. рис. 2).

04.11.03. в 1.5 км к северо-западу от центральной промплощадки шахты «Западная-апитальная» в пределах шахтного поля шахты им. газеты «Комсомольская правда», в г. Новошахтинске, в грунте, образовалась трещина и произошел порыв водовода диаметром 300 мм.

Систематические наблюдения за состоянием газовой обстановки в подвалах домов, построенных над ликвидированным шурфом шахты №3, отрабатывавшей Несветаевские пласты и закрытой в 30 годы прошлого века, позволили выявить выделения углекислого газа на поверхность. В связи с этим были пробурены газодренажные скважины в 1999-2000 годах

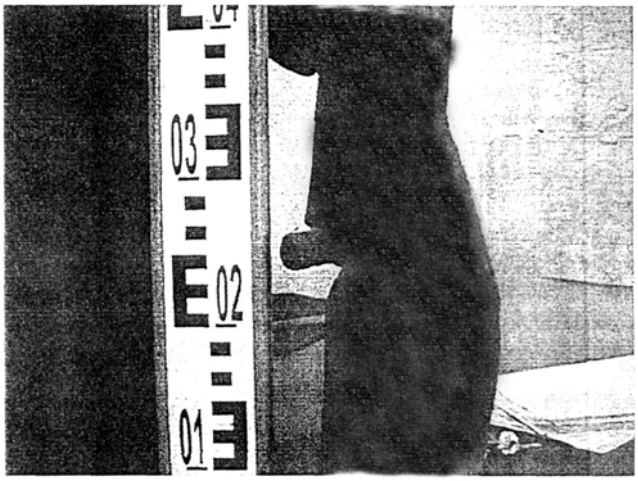

Рис. 2. Деформация трубы водовода

Рис. 3. Трещина в земной поверхности, образовавшаяся в результате подземного толчка в г. Новошахтинске

в поселках Красный и Ильичевка.

Основными причинами выделения CO_2 из горных выработок на поверхность являются:

• образование углекислого газа при реакции разложения кислыми шахтными водами карбонатов (известняков и кальцита);

• окисление различных органических и неорганических веществ и за счет поступления в воздух газов, выделяющихся из угля и вмещающих пород.

Опыт наблюдения за затоплением шахт угольного района и региона свидетельствует о повышении кислотности шахтных вод в ходе затопления выработанного пространства, что способствует повышению интенсивности реакции этих вод и карбонатных пород с соответствующим увеличением образования CO_2.

Образование CO_2, при сохранении в шахтных водах кислой среды, будет происходить постоянно, поэтому появление шахтного воздуха с опасными концентрациями CO_2 не исключается и в других районах города.

Подводя итоги, следует отметить, что в настоящее время шахта «Западная-Капитальная» полностью затоплена. Так как она сбита горными выработками с соседними шахтами им. Ленина и «Комсомольская правда», было принято решение о закрытии и этих двух шахт.

В действующих нормативных документах, составленных преимущественно до массового закрытия и затопления угольных шахт и разрезов, влияние новой гидрогеомеханической обстановки на безопасность горных работ в должной мере не отражено. Поэтому первая же попытка отработки запасов угля под затопленным выработанным пространством по старым нормам на шахте «Западная-Капитальная» в городе Новошахтинске без необходимого учета сложившейся ситуации, привела к катастрофическим последствиям.

Большим недостатком существующей нормативной базы является недостаточная согласованность, а иногда и просто противоречивость ее отдельных документов. Так, в «Правилах охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях» [2] основным критерием ведения горных работ под водными объектами является отношение H/m, где H - расстояние от очистной выработки до водного объекта, m - вынимаемая мощность пласта. Напор водяного столба при этом не учитывается. В СНиП 2.06.14-85 «Защита горных выработок от подземных и поверхностных вод» [3] наоборот, основным критерием является напор во-

дяного столба, а характер и величины деформаций водозащитной толщи, определяемые соотношением *H/m*, не учитываются. Поэтому, решая задачи по этим документам, можно получить для одних и тех же условий совершенно различные, подчас несопоставимые результаты. Отсюда первоочередной задачей является приведение во взаимное соответствие требования и критерии, содержащиеся в различных нормативных документах.

Согласно упомянутому выше СНиП 2.06.14-85 проведение подземных выработок под водным объектом допускается, если выдерживается следующее соотношение

$$y_0 \leq 5h_H$$

где y_0 - остаточный напор, отсчитываемый от кровли разделяющего слоя водоупорных пород, м; h_H - толщина ненарушаемого при разработке слоя водоупорных пород, м.

Однако разъяснений, как определять толщину «ненарушаемого при разработке слоя водоупорных пород», в СНиП не приводится. Поэтому одни считают, что этот слой не должен совсем деформироваться и принимают неоправдано завышенный коэффициент запаса, другие - наоборот, под «не нарушенным» понимают «не разрушаемый», т.е. не разбитый на отдельные блоки. Такое представление ведет к катастрофическим прорывам воды.

Из всего вышеизложенного вытекает крайняя необходимость проведения исследования гидрогеомеханических процессов, происходящих при ликвидации угольных шахт путем их затопления и разработки на основе этих исследований нормативного документа, регламентирующего условия ликвидации шахт и содержащего меры по предотвращению негативных последствий при их ликвидации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Викторов С.Д., Иофис М.А., Одинцев В.Н.* Разрушение массива горных пород и риск техногенных катастроф. // Горный журнал. - 2005. - №4

2. *Правила* охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. // С.-Петербург, ВНИМИ. - 1998

3. *Защита* горных выработок от подземных и поверхностных вод. СНиП 2.06.14 -85 //Госстрой СССР. - 1985

Коротко об авторах

Мирошниченко И.М. – аспирантка ИПКОН РАН.

© Д.Н. Шурыгин, И.Ю. Иванов, 2006

УДК 622.272.001.57

Д.Н. Шурыгин, И.Ю. Иванов

РАСЧЕТ СДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТ ВЫРАБОТОК НЕПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Сдвижения и деформации земной поверхности при разработке угольных месторождений рассчитываются по методикам Правил охраны сооружений и природных объектов [1] в направлении главных сечений. При необходимости сдвижения и деформации можно определить по тем же Правилам и в произвольных точках мульды сдвижения. Но эти расчеты, как показано в работах [2,3], выполняются некорректно. Кроме того, подобные расчеты не могут быть выполнены для выработок имеющих форму отличную от прямоугольника (это имеет место на участках сочленения штреков с уклонами или бремсбергами) и не приспособлены для случаев совместного расчета сдвижений и деформаций для двух лав располагающихся уступом.

Эта задача может быть решена, не отходя от принципов типовых кривых, принятых в «Правилах охраны», но, используя другие пути реализации этого принципа.

Пусть вершины исходной выработки заданы своими координатами (x_i, y_i) в системе координат XOY (рис. 1).

Полученную выработку впишем в прямоугольную выработку с вершинами $(x_{\min}, y_{\min})$, $(x_{\max}, y_{\min})$, $(x_{\max}, y_{\max})$ и $(x_{\min}, y_{\max})$. Произведем разбиение прямоугольной выработки на одинаковые прямоугольники. Совокупность прямоугольников можно представить в виде двумерного массива, количество строк m и столбцов n которого соответственно определяют длины сторон прямоугольников d_1 и d_2:

$$d_1 = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{m\cos(\alpha)},$$

$$d_2 = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{n}.$$

где α – угол падения пласта.

Далее производится удаление прямоугольников, которые полностью не принадлежат исходной выработке (заштрихованы на рис. 1). Подбирая длины сторон прямоугольников d_1 и d_2, можно аппроксимировать границу исходной выработки с любой точностью.

Будем называть элементарной выработкой любой из построенных прямоугольников.

Пронумеруем элементарные выработки, как показано на рис. 1. Тогда координаты центра (x_{ij}^c, y_{ij}^c) элементарной выработки с индексами i, j определятся по следующим формулам:

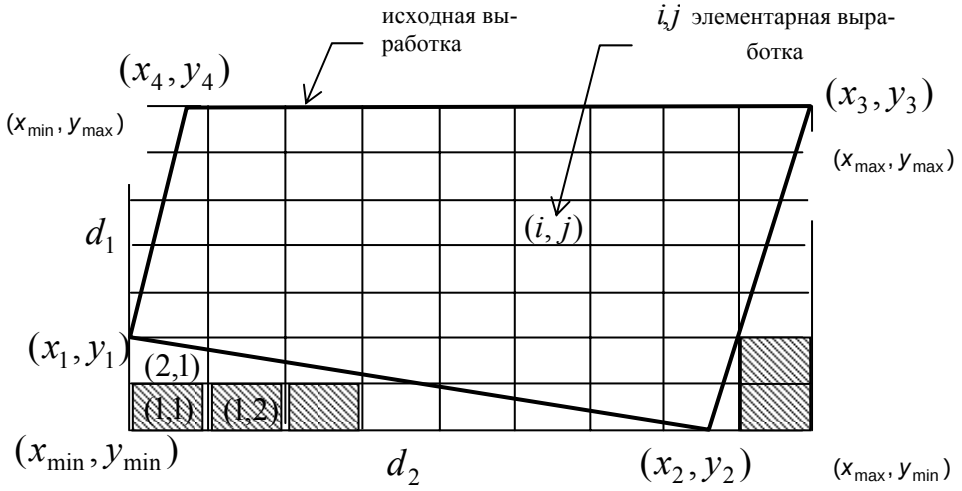

Рис. 1. Схема исходной выработки и ее разбиения на элементарные прямоугольные выработки

$$x_{ij}^c = x_{\min} + 0,5d_2 \cdot (2j-1),\ j = \overline{1,n}.$$

$$y_{ij}^c = y_{\min} + 0,5d_1 \cdot (2i-1),\ i = \overline{1,m}.$$

Каждой элементарной выработке будет соответствовать элементарная мульда сдвижения, и по построению всегда будет иметь место неполная подработка в силу малых размеров выработок вкрест простирания d_1 и по простиранию d_2, то есть:

$$n_{1ij} = 0,7\frac{d_1}{h_{ij}} << 1,$$

$$n_{2ij} = 0,7\frac{d_2}{h_{ij}} << 1,$$

где n_{1ij} – коэффициент подработанности вкрест простирания элементарной выработки i, j; n_{2ij} – коэффициент подработанности по простиранию элементарной выработки i, j; h_{ij} – средняя глубина залегания элементарной выработки i, j.

Для каждой элементарной выработки можно определить величины полумульд сдвижения L_{1ij}, L_{2ij}, L_{3ij} по следующим формулам:

$$L_{1ij} = \frac{h_{ij} - h_н + 0,5d_1\sin(\alpha)}{tg(\beta_0)} + \\ +0,5d_1\cos(\alpha) - \frac{h_{ij}}{tg(\theta)} + \frac{h_н}{tg(\varphi_0)},$$

$$L_{2ij} = \frac{h_{ij} - h_н - 0,5d_1\sin(\alpha)}{tg(\gamma_0)} + \\ +0,5d_1\cos(\alpha) + \frac{h_{ij}}{tg(\theta)} + \frac{h_н}{tg(\varphi_0)},$$

$$L_{3ij} = \frac{h_{ij} - h_н}{tg(\delta_0)} + 0,5d_2 + \frac{h_н}{tg(\varphi_0)},$$

где L_{1ij}, L_{2ij}, L_{3ij} – длины полумульд элементарной выработки i, j соответственно по падению, восстанию и простиранию; $h_н$ – мощность наносов; β_0, γ_0 и δ_0 – граничные углы соответственно по падению, восстанию

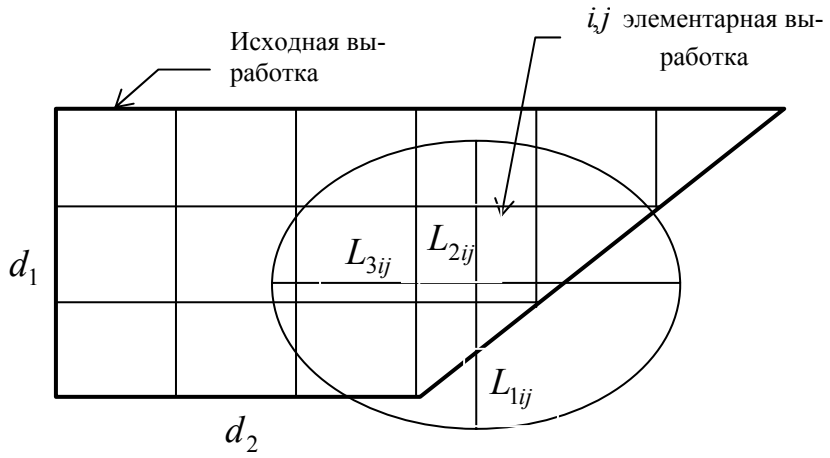

Рис. 2. Мульда сдвижения элементарной выработки i, j

и по простиранию пласта; θ – угол максимального оседания.

Так как глубина залегания элементарных выработок меняется только вкрест простирания, то справедлива следующая формула:

$$h_{ij} = H - 0,5\ \mathrm{d}_1(2i-1)\sin(\alpha),$$

где H – максимальная глубина залегания выработки.

Координаты (x_{ij}, y_{ij}) центра элементарной мульды сдвижения выработки i, j определяются по следующим формулам:

$$x_{ij} = x_{ij}^c,$$

$$y_{ij} = y_{ij}^c - \frac{h_{ij}}{tg(\theta)}.$$

Пример построения мульды сдвижения для элементарной выработки i, j показан на рис. 2.

Расчет оседаний в элементарной мульде сдвижения i, j выполним по методике, изложенной в работе [2], а функцию оседаний возьмем следующего вида:

$$S_{ij} = f\left(x - x_{ij}, y - y_{ij}\right) = e^{-6,2\left(\frac{\sqrt{(x-x_{ij})^2+(y-y_{ij})^2}}{L_\varphi^{ij}}\right)^{2,5\sqrt[4]{N_\varphi^{ij}}}},$$

где (x, y) – текущие координаты расчетной точки в элементарной мульде; (x_{ij}, y_{ij}) – координаты центра элементарной мульды i, j; L_φ^{ij} и N_φ^{ij} – длина полумульды и коэффициент подработанности по направлению φ для элементарной мульды i, j.

$$\varphi = arctg\left|\frac{y - y_{ij}}{x - x_{ij}}\right|.$$

Оседание в точке $M(x_M, y_M)$ элементарной мульды сдвижения определяется по формуле (1), исходя из значения максимального оседания:

$$\eta_M^{ij} = \eta_m^{ij} S_{ij}\left(x_M, y_M\right), \qquad (1)$$

где η_M^{ij} – оседание в точке $M(x_M, y_M)$ в элементарной мульде сдвижения вы-

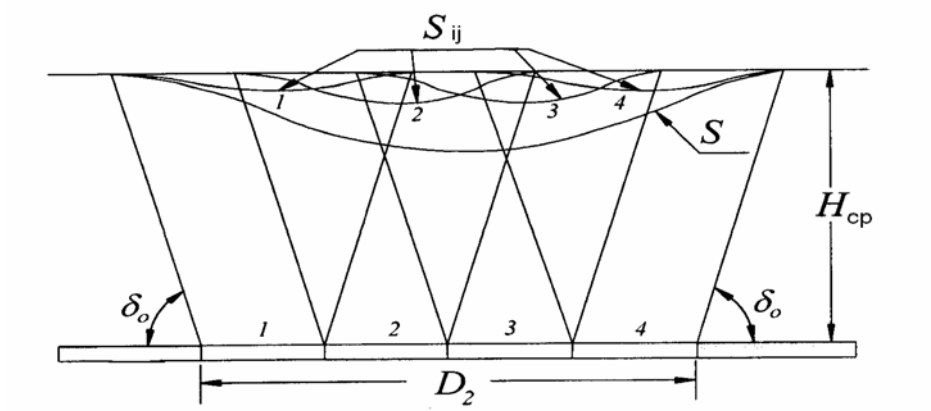

Рис. 3. Суммирование элементарных мульд

работки i, j ; η_m^{ij} – максимальное оседание земной поверхности в элементарной мульде сдвижения выработки i, j .

Предположим, что оседание точки земной поверхности в мульде сдвижения исходной выработки приближенно равно сумме оседаний от элементарных выработок, в мульды сдвижения которых попадает расчетная точка $M(x_M, y_M)$:

$$\eta_M \approx \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} k_{ij}\eta_M^{ij} , \qquad (2)$$

где k_{ij} – некоторый эмпирический коэффициент, отражающий вклад элементарной выработки i, j в образование мульды сдвижения исходной выработки; η_M^{ij} – оседание в заданной точке $M(x_M, y_M)$ под действием элементарной выработки i, j .

Графическая интерпретация расчета оседания в мульде сдвижения исходной выработки на вертикальном разрезе по простиранию пласта показана на рис. 3.

Для определения значений k_{ij} воспользуемся следующим подходом. Рассмотрим прямоугольную выработку, в которую вписывается исходная выработка, как показано выше (см. рис. 1).

Длина такой выработки вкрест простирания D_1 и по простиранию D_2 определится по следующим формулам:

$$D_1 = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{\cos(\alpha)} ,$$

$$D_2 = x_{\max} - x_{\min} .$$

В случае неполной подработки вкрест простирания и по простира-нию координаты центра мульды сдви-жения для прямоугольной выработки находятся по формулам:

$$x_0 = 0,5(x_{\max} - x_{\min}) ,$$

$$y_0 = 0,5\frac{y_{\max} - y_{\min}}{\cos(\alpha)} - H_{cp}ctg(\theta) ,$$

где θ – угол максимального оседания.

Функция распределения оседаний по площади мульды сдвижения прямоугольной выработки находится по формуле:

$$S = f\left(x - x_0, y - y_0\right) = e^{-6,2\left(\frac{\sqrt{(x-x_0)^2+(y-y_0)^2}}{L_\varphi}\right)^{2,5\sqrt[4]{N_\varphi}}} , \qquad (3)$$

где (x_0, y_0) – координаты центра мульды выработки; L_φ и N_φ – длина полумульды и коэффициент подработанности по направлению φ [2].

$$\varphi = arctg\left|\frac{y - y_0}{x - x_0}\right|.$$

При разбиении прямоугольной выработки на элементарные выработки по описанному выше алгоритму можно приближенно найти оседание произвольной точки $M(x_M, y_M)$ в мульде сдвижения прямоугольной выработки по формуле (2) в виде суммы элементарных оседаний. С другой стороны, для расчета величины оседания от выработки прямоугольной формы можно с учетом (3) применить формулу:

$$\eta_M = \eta_m S(x_M, y_M). \qquad (4)$$

Таким образом, для любой точки $M(x_M, y_M)$ величину оседания, рассчитываемого по (4), можно приближенно представить суммой элементарных оседаний (2):

$$\eta_M = \eta_m S(x_M, y_M) \approx \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} k_{ij}\eta_M^{ij}. \qquad (5)$$

Правая часть формулы (5) представляет собой линейную комбинацию неизвестных переменных k_{ij} с коэффициентами η_M^{ij}. Общее количество таких переменных равно mn – числу элементарных выработок. Если взять произвольное число точек (не менее mn) в мульде сдвижения прямоугольной выработки, то можно получить следующую систему:

$$\begin{cases} \eta_A = \eta_m S(x_A, y_A) \approx \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} k_{ij}\eta_A^{ij} \\ \eta_B = \eta_m S(x_B, y_B) \approx \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} k_{ij}\eta_B^{ij} \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \eta_M = \eta_m S(x_M, y_M) \approx \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} k_{ij}\eta_M^{ij}. \end{cases}$$

(6)

С учетом того, что указанные выше коэффициенты отражают вклад соответствующих элементарных выработок в образование мульды сдвижения, они все должны быть неотрицательными: $k_{ij} \geq 0$, где $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$. Для вычисления коэффициентов можно применить неотрицательный линейный метод наименьших квадратов (МНК). После определения коэффициентов необходимо обнулить те коэффициенты, которые соответствуют элементарным выработкам, не принадлежащим исходной выработке.

Эту методику можно использовать и для случая полной подработки. В этом случае максимальное оседание для неполной подработки η_m заменяется на η_0. При незначительных отклонениях исходной выработки от выработки прямоугольной формы можно для этих выработок границы плоского дна принять одинаковыми.

Таким образом, в области плоского дна оседания точек будем рассчитывать по формуле (4). В остальной части мульды сдвижения выберем некоторый набор произвольных точек для получения системы (6). Затем методом наименьших квадратов определим коэффициенты влияния элементарных мульд. Далее расчет оседания в заданной точке мульды вне плоского дна будем вести по формуле (2).

Для расчетов вертикальных и горизонтальных деформаций необходимо знать длину полумульды, проходящую через заданную точку $M(x_M, y_M)$. Вычислив значение оседания в точке по формуле (2), искомую длину полумульды можно получить из формулы (4) с учетом (3):

$$L_M = \sqrt{(x_M - x_0)^2 + (y_M - y_0)^2} \times$$
$$\times e^{-\frac{0,4\ln(-0,161\ln(\eta_M / \eta_m))}{\sqrt[4]{N_\varphi}}}.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Правила* охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных выработок на угольных месторождениях. С.-Пб, ВНИМИ, 1998. – 290 с.
2. *Иванов И.Ю., Медянцев А.Н.* Расчеты сдвижений и деформаций земной поверхности в заданных точках мульды полярным способом // Маркшейдерия и недропользование. №1, 2001. – С.32-34.
3. *Медянцев А.Н., Иванов И.Ю., Архипов А.Н., Архипова Л.И.* Расчет сдвижений и деформаций земной поверхности по площади при маркшейдерском обеспечении городских кадастров // Горный информационно-аналитический бюллетень. №6, 2000. - С. 42-44.

Коротко об авторах

Иванов Игорь Юрьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия»,
Шурыгин Дмитрий Николаевич – аспирант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия»,
Южно-Российский государственный технический университет (НПИ), г. Новочеркасск.

ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ			
АНТОНОВ Кирилл Викторович	Геомеханическое обоснование повышения производительности драглайнов с учетом межремонтных периодов в различных горно-технологических условиях	25.00.20 25.00.22	к.т.н.

ИСАЕНКО Алексей Владимирович	Обоснование и разработка техноло-гии закладки вертикальных горных выработок горелыми породами, упрочненными вяжущим	25.00.22	к.т.н.
ПЕРЕВЕРЗЕВ Сергей Сергеевич	Управление режимами пуска асинхронных электроприводов горных и транспортных машин	05.09.03	к.т.н.