

## Список литературы

1. Касьян Н.Н. Геомеханические основы управления зоной разрушенных пород вокруг выработок для обеспечения их устойчивости на больших глубинах: Дисс. ... д-ра техн. наук: 05.05.04. – Донецк, 2003. – 317 с.

2. Современные проблемы проведения и поддержания горных выработок на глубоких шахтах: Монография / С.В. Янко, С.С. Гребёнкин, А.М. Брюханов и др. // Под общ. ред. С.В. Янко. – Донецк, ДУНГВО, 2003. – 256 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Бондаренком 21.01.10*

УДК 622.1:528.481:622.58

© А.Г. Гаврюк, Г.Ф. Гаврюк, 2010

А.Г. Гаврюк, Г.Ф. Гаврюк

## ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСЕДАНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ПОЛУМУЛЬДЕ ПРИ ПОДРАБОТКАХ И ВОДОПОНИЖЕНИИ

На основі результатів натурних інструментальних спостережень на спостережних станціях встановлено основні закономірності розподілу осідань земної поверхні у напівмульдї при підробках і водопониженні.

На основе результатов натурных инструментальных наблюдений на наблюдательных станциях установлены основные закономерности распределения оседаний земной поверхности в полумульде при подработках и водопонижении.

On the basis of results of instrumental supervisions of models at the observant stations basic conformities to the law of distributing of settling of earthly surface are set at earning additionally and lowering of water level.

Условия безопасной подработки различных сооружений и природных объектов на Никопольском марганцевом месторождении регламентируются нормативным документом – Правилами охраны [1], составленными сотрудниками кафедры маркшейдерии НГУ по результатам исследований процесса сдвижения земной поверхности в условиях шахт Марганецкого ГОКа.

В указанных Правилах разработана методика расчета, позволяющая прогнозировать сдвижения и деформации земной поверхности при подработках с учетом технологии отработки марганцеворудного пласта.

Известно, что ведение очистных горных работ на шахтах Марганецкого ГОКа осложнено наличием в подрабатываемой породной толще нескольких водоносных горизонтов (как безнапорных, так и напорных), представляющих опасность прорыва воды в горные выработки.

Основным источником обводнения горных выработок на шахтах 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 марганцеворудного 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 м<sup>3</sup>/ч.

Наличие такого количества воды в толще горных пород является значительным препятствием при разработке месторождения. Поэтому с целью предотвращения прорывов воды в выработанное пространство перед началом ведения очистных горных работ проводится предварительное снижение пьезометрического уровня водоносного горизонта при помощи восстающих скважин, пробуренных из подготовительных горных выработок.

Натурными инструментальными наблюдениями, выполненными на четырех наблюдательных станциях, расположенных на полях шахт №№ 4-7, 6 и 9-10 Марганецкого ГОКа, было отмечено значительное превышение (до 1 м и более) величин максимальных оседаний земной поверхности по отношению к вынимаемой мощности марганцеворудного пласта вследствие проводимого водопонижения на подрабатываемых участках. Установлено, что величины дополнительных сдвижений и деформаций зависят от технологии отработки марганцеворудного пласта (комплексно-механизированными заходками или лавами), степени водопонижения, физико-механических свойств подрабатываемой породной толщи (сжимаемости и пористости) [2].

Целью настоящей статьи является попытка установления общих закономерностей распределения оседаний земной поверхности в полумульде с учетом гидрогеологических особенностей подрабатываемых участков при выборе мер охраны сооружений и объектов

Для условий Никопольского марганцевого месторождения максимальное оседание земной поверхно-

сти при подработках может быть представлено в следующем виде:

$$\eta_{0o} = \eta_{0z} + \eta_{0e} \text{ или } \eta_{0o} = q_0 m + \Delta\sigma_3 \sum_{i=1}^n k_i h_i,$$

где  $\eta_{0z}$  – максимальное оседание, вызванное очистными горными работами, м;  $\eta_{0e}$  – максимальное оседание, вызванное водопонижением, м;  $q_0$  – относительная величина максимального оседания (для месторождений со слабыми вмещающими породами равно 0,9);  $m$  – вынимаемая мощность пласта, м;  $\Delta\sigma_3$  – величина эффективных напряжений вследствие водопонижения, кгс/см<sup>2</sup>;  $k_i = a_i / (1 + \varepsilon_i)$  – коэффициенты, учитывающие физико-механические свойства  $i$ -го породного слоя (сжимаемость  $a_i$  и пористость  $\varepsilon_i$ ).

При снижении напоров на величину  $\Delta H$  происходит увеличение эффективных напряжений на величину

$$\Delta\sigma_3 = \Delta H \gamma,$$

где  $\Delta H = H_1 - H_2$  – разность уровней воды в водоносном горизонте до и после водопонижения, м;  $\gamma$  – плотность воды, т/м<sup>3</sup>.

Конечная осадка однородного породного слоя при известной величине водопонижения может быть представлена следующей зависимостью:

$$B_k = \Delta\sigma_3 h a / (1 + \varepsilon),$$

где  $h$  – мощность сжимаемого породного слоя, м;  $a$  – коэффициент сжимаемости породы при известной нагрузке, см<sup>2</sup>/кг;  $\varepsilon$  – коэффициент пористости породы.

В случае неоднородности породной толщи ее конечная осадка будет складываться из суммы конечных осадок каждого из сжимающихся породных слоев.

Правомерность таких выводов была апробирована на наблюдательных станциях по профильным линиям реперов, заложенных вдоль выемочных столбов в плоском дне мульды сдвижения.

Корреляционный анализ показывает достаточно тесную связь между величинами максимальных оседаний земной поверхности, вызванных водопонижением, и величинами водопонижения. Окончательные уравнения можно представить в виде  $\eta_{0e} = f(\Delta\sigma_3)$ , т.е. соответственно получим:

– для наблюдательной станции № 2 (шахта №6):

$$\eta_{0e} = 2,2\Delta\sigma_3 - 0,97; \quad (1)$$

– для наблюдательной станции № 4 (шахта №9-10):

$$\eta_{0e} = 5,3\Delta\sigma_3 - 6,84. \quad (2)$$

Достаточно высокие коэффициенты корреляции (соответственно 0,85 и 0,82) означают, что зависимость  $\eta_{0e} = f(\Delta H)$  является практически линейной. Коэффициенты в выражениях (1) и (2) – соответственно 2,2 и 5,3 – учитывают физико-механические свойства горных пород (пористость и сжимаемость) и их мощности.

Для определения общей осадки земной поверхности по наблюдательным станциям № 2 и № 4 соответственно получим:

$$\sum_{i=1}^n k_i h_i = 2,2 \quad \text{и} \quad \sum_{i=1}^n k_i h_i = 5,3.$$

Таким образом, на наблюдательной станции № 2 сцепление пород нарушается при дополнительных нагрузках  $\Delta\sigma_3 > 0,44$  кгс/см<sup>2</sup> ( $\Delta H > 4,4$  м).

На наблюдательной станции № 4, где мощность пород несколько меньше, это сцепление нарушается лишь при дополнительных нагрузках  $\Delta\sigma_3 > 1,29$  кгс/см<sup>2</sup> ( $\Delta H > 12,9$  м).

Классическая теория упругого режима фильтрации базируется, как известно, на предположении о полной передаче «депрессионной нагрузки» на водоносные породы. Иначе говоря, принимается, что снижение напоров  $\Delta H$  в какой-то точке кровли водоносного пласта вызывает увеличение эффективного напряжения в этой точке на величину

$$\Delta\sigma_3 = \Delta H \gamma.$$

Практическое применение такого предположения при условии, что радиус депрессионной воронки значительно превышает мощность перекрывающих пород  $\sum_{i=1}^n h_i$ , не вызывает никакого сомнения. Очевидно, данное предположение приемлемо и для зон полных сдвижений толщи при ее подработке.

При проведении относительно кратковременных откачек из водоносных горизонтов, когда диаметр зоны откачки  $2R$  соизмерим с величиной  $\sum_{i=1}^n \Delta h_i$  или

даже меньше ее, будет иметь существенное значение эффект «зависания» перекрывающей толщи: давление на водовмещающие породы (в пределах зоны влияния откачки) со стороны перекрывающих пород будет передаваться лишь частично – ввиду защемляющего действия боковых пород по контуру депрессионной воронки [3].

Инструментальные наблюдения на наблюдательных станциях подтверждают сделанные выше выводы. В обычных условиях водопонижения, когда уровни снижаются медленно, процесс консолидации пород в центре депрессионной воронки (в районе водопонижающих скважин) происходит довольно медленно и плавно, вызывая незначительные сдвиги земной поверхности (до 15-30 мм/год). Катализатором (ускорителем) этого процесса могут быть

очистные горные работы, вызывающие бурное развитие процесса сдвижения горных пород и земной поверхности и ликвидирующие эффект «зависания» в зоне полных сдвижений. В этом случае формула для вычисления максимального оседания земной поверхности на участке плоского дна мульды сдвижения имеет вид [2]:

$$\eta_{0o} = q_0 m + \Delta\sigma_s \sum_{i=1}^n k_i h_i.$$

Известно, что в результате снижения гидростатического давления толща перекрывающих пород стремится прогнуться так, чтобы избыточное эффективное давление передалось на водоносные пласты, из которых ведется откачка. Прогнбу препятствуют силы упругого сопротивления изгибу пород перекрывающей толщи и силы упругого отпора со стороны сжимающего водоносного пласта. Вокруг водопонижающей скважины, а при очистной выемке – вокруг зоны полных сдвижений создается воронка депрессии радиуса  $R$ , причем, как отмечают авторы [3, 4], понижение уровней в пределах воронки подчиняется логарифмической зависимости

$$\Delta H_{(r)} = \Delta H_0 \frac{\ln(R/r)}{\ln(R/r_0)},$$

где  $\Delta H_0$  – величина напора воды в скважине;  $r$  – текущая координата;  $r_0$  – радиус скважины.

Следует отметить, что при ведении очистных горных работ уровни водоносных горизонтов в зоне полных сдвижений приурочены к водоупору, т.е. в этом случае  $\Delta H_0$  будет иметь максимальное значение.

Степень влияния неполной передачи давления на процесс фильтрации в депрессионной воронке характеризуется величиной  $\varphi(\rho_1)$  [5], которая представляет собой отношение фактической водоотдачи к водоотдаче, рассчитанной из предпосылки о полной передаче давления. На рис. 1 приведен график зависимости  $\varphi(\rho_1)$ , где  $\rho_1 = bR$ ,  $b$  – коэффициент приведения.

Известно, что распределение величин оседаний земной поверхности в полумульде при подработке подчиняется определенным закономерностям.

Функция распределения  $S(z)$  в точках полумульды размером  $L$  может быть представлена в следующем виде:

$$S(z) = \frac{\eta_{(x)}}{\eta_{0o}},$$

где  $\eta_{(x)}$  – оседание в точке с абсциссой  $x$ ; начало координат принимают в точке максимального оседания;  $\eta_{0o}$  – величина максимального оседания земной поверхности вследствие ведения очистных горных работ и водопонижения, мм.

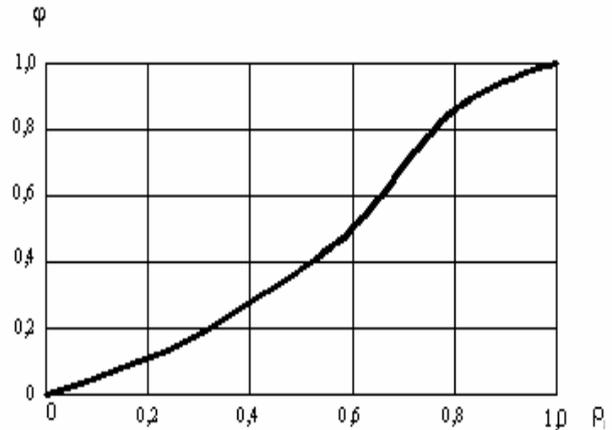


Рис. 1. График функции  $\varphi(\rho_1)$

Для удобства инженерных расчетов искомая функция по наблюдательным станциям представлена в табличном виде (табл. 1).

Для сравнения в табл. 1 приведены значения функции  $S(z)$  для Донбасса, где отсутствует явление предварительного водопонижения при подработках.

Конфигурация кривой  $S(z)$  подчиняется следующим закономерностям: максимальные значения функция имеет в начале полумульды (в точке максимального оседания) ( $z = 0$ ), нулевые – на краях полумульды ( $z = 1,0$ ), точка перегиба кривой приурочена к границе выработанного пространства ( $z = 0,5$ ).

Аналогично этому распределения эффективных напряжений в различных точках депрессионной воронки (мульды сдвижения) также будут идентичны: максимальные – в центре мульды (в зоне полных сдвижений) и минимальные (с нулевыми значениями) – на краях. Очевидно, что распределение величины  $\Delta\sigma_s(r)$  в пределах полумульды сдвижения будет соответствовать кривой, изображенной на рис. 1.

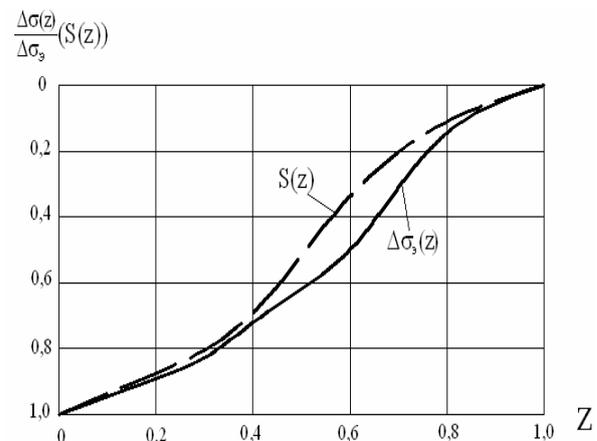


Рис. 2. Графики распределения  $\Delta\sigma_s(z)$  и  $S(z)$  в полумульде

Для установления функциональных зависимостей нами были сопоставлены единичные кривые

распределения оседаний земной поверхности при полной подработке, полученные по результатам натурных инструментальных наблюдений на наблюдательных станциях, с кривыми эффективных напряжений в полумульде сдвижения при водопонижении (рис. 2). Как видим, при этом

отмечается значительная сходимость указанных кривых.

Отсюда следует важный вывод о том, что распределение оседаний земной поверхности в полумульде практически аналогично распределению эффективных напряжений, вызванных водопонижением.

Таблица 1

Значения функций  $S(z)$  при полной подработке

$Z = \frac{x}{L}$	Значения функции $S(z)$ по наблюдательным станциям					Принятые $S(z)$ по месторождению	$S(z)$ для Донбасса
	Станция №1, линия №2	Станция №2, линия №3	Станция №2, линия №4	Станция №3, линия №1	Станция №4, линия №1		
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,1	0,97	0,99	0,99	0,97	0,99	0,98	0,99
0,2	0,90	0,95	0,94	0,94	0,93	0,95	0,95
0,3	0,83	0,86	0,85	0,89	0,84	0,86	0,86
0,4	0,70	0,71	0,68	0,78	0,67	0,71	0,71
0,5	0,50	0,46	0,53	0,52	0,47	0,50	0,50
0,6	0,30	0,24	0,33	0,32	0,29	0,30	0,29
0,7	0,16	0,10	0,10	0,21	0,14	0,14	0,14
0,8	0,08	0,03	0,03	0,12	0,08	0,07	0,05
0,9	0,03	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01
1,0	0	0	0	0	0	0	0

На основании проведенных нами исследований можно сформулировать следующие выводы:

Распределение оседаний земной поверхности в полумульде зависит от геологического строения месторождения и особенностей деформирования подрабатываемой породной толщи при водопонижении.

Установленные закономерности позволяют надежно прогнозировать оседания земной поверхности в полумульде с учетом физико-механических свойств подрабатываемого породного массива и степени водопонижения при решении вопросов выбора эффективных мер охраны сооружений и объектов при подработках.

**Список литературы**

1. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на Никопольском марганцевом месторождении / Сост.:

Лисица И.Г., Антипенко Г.А., Гаврюк Г.Ф. – Д.: ДГИ, 1985. – 38 с.

2. Лисица И.Г., Антипенко Г.А., Гаврюк Г.Ф. Особенности процесса сдвижения земной поверхности при разработке Никопольского месторождения // Разработка месторождений полезных ископаемых. – К.: Техніка, 1992. – Вып. 91. – С. 38-42.

3. Котов И.Г., Мироненко В.А., Сердюков Л.И. О влиянии жесткости слоев, перекрывающих водоносный горизонт, на закономерности упругого режима фильтрации // ПМТФ. – 1971. – № 2. – С. 172-176.

4. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов // Напряженно-деформационные и прочностные характеристики. – М.: Стройиздат, 1979. – 304 с.

5. Гидрогеологические исследования в горном деле / Под общ. ред. д-ра г.-м. н. В.А. Мироненко. – М.: Недра, 1975. – 352 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. О.М. Шашенком 24.11.09*