

# ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА СДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ СКВАЖИННОЙ ГИДРОДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

М.А. Иофис, Е.Н. Есина

Кафедра геодезии и маркшейдерского дела  
Инженерный факультет  
Российский университет дружбы народов  
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

Разработана новая методика расчета сдвижений и деформаций земной поверхности, впервые учитывающая характерные особенности выработанного пространства при скважинной гидродобыче полезных ископаемых.

**Ключевые слова:** скважинная гидродобыча, геомеханическое обеспечение, сдвижения и деформации земной поверхности, оседания, наклоны, выработанное пространство, метод расчета.

Для принятия технологических решений прогнозирования процессов подработки объектов земной поверхности и своевременного принятия мер по их защите основными исходными данными являются прогнозируемые величины и характер распределения деформаций земной поверхности в мульде сдвижения.

Существует несколько методик определения ожидаемых деформаций земной поверхности, при этом наиболее распространенным является метод типовых кривых [2]. Согласно этому методу деформации в точках мульды сдвижения определяются по формулам:

оседания

$$\eta_x = \eta_{\max} S(z), \quad (1)$$

наклоны

$$i_x = \pm \frac{\eta_{\max}}{L} S'(z), \quad (2)$$

кривизна

$$K_x = \frac{\eta_{\max}}{L^2} S''(z), \quad (3)$$

горизонтальные сдвижения

$$\xi_x = 0,5\alpha_0 \eta_{\max} F(z), \quad (4)$$

горизонтальные деформации

$$\varepsilon_x = \frac{0,5\alpha_0 \eta_{\max}}{L} F'(z), \quad (5)$$

где  $\eta_x$ ,  $i_x$ ,  $K_x$ ,  $\xi_x$ ,  $\varepsilon_x$  — соответственно оседание, наклон, кривизна, горизонтальное сдвижение и относительная горизонтальная деформация в точке с абсциссой  $X$  (начало координат в точке максимального оседания);  $\eta_{\max}$  — максимальное оседание;  $Z = X/L$ ;  $L$  — длина полумульды, определяемая графически;  $\alpha_0$  — отношение величины максимального гори-

зонтального сдвижения к максимальному оседанию при полной подработке, горизонтальном залегании и закончившемся процессе сдвижения;  $S(z)$ ,  $S'(z)$ ,  $S''(z)$ ,  $F(z)$ ,  $F'(z)$  — переменные коэффициенты (функциональные зависимости), отражающие характер распределения деформаций в мулде сдвижения.

Численные значения этих коэффициентов приведены в нормативных документах [3]. Данный метод включен в большинство действующих нормативных документов и является основным методом расчета деформаций земной поверхности при разработке месторождений со слоистым строением толщи пород.

Однако применение описанного метода при скважинной гидродобыче (СГД), которая получает в настоящее время все большее распространение [4], невозможно из-за ряда особенностей этого способа добычи. При СГД образуется характерная форма выработанного пространства, треугольная или трапециевидная в сечении, что определяется спецификой добычи. При этом форма выработанного пространства определяется углом стока суспензии (водоугольной в частности), мощностью пластов и устойчивостью основной кровли. Возможность применения для этих условий традиционных методик расчета ожидаемых деформаций земной поверхности была исследована Р.А. Муллером. Им предложено при расчетах заменять истинную выработку ABC на равную по площади условную выработку KMNP, прямоугольную в сечении (рис. 1). Результаты традиционных расчетов характеризуют местоположение именно условного выработанного пространства. В дальнейшем осуществляется переход от расчетного выработанного пространства к фактическому [1].

Такое допущение справедливо при небольших значениях «а», составляющих доли от фактического размера выработанного пространства  $D_\phi$ , т.е. когда расчетный размер выработанного пространства  $D_p$  отличается от фактического не более чем на 10—15%.

При скважинной гидродобыче применение метода Р.А. Муллера совершенно неприемлемо, так как это различие может достигать 50—100%, поскольку форма выработанного пространства при СГД часто имеет форму треугольника ABC (рис. 1) или близкой ему трапеции ABCG (рис. 2). Исследования показали, что эта форма зависит от угла стока образующейся суспензии  $\nu$ , составляющего обычно  $15^\circ$ , т.е. значительно отличающегося от вертикального (в 6 раз). При традиционных способах добычи это различие не превышает 50%.

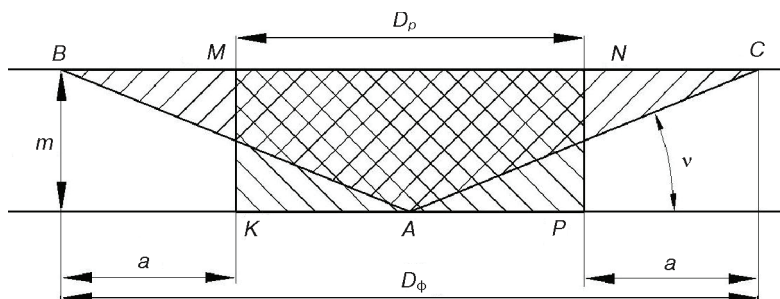
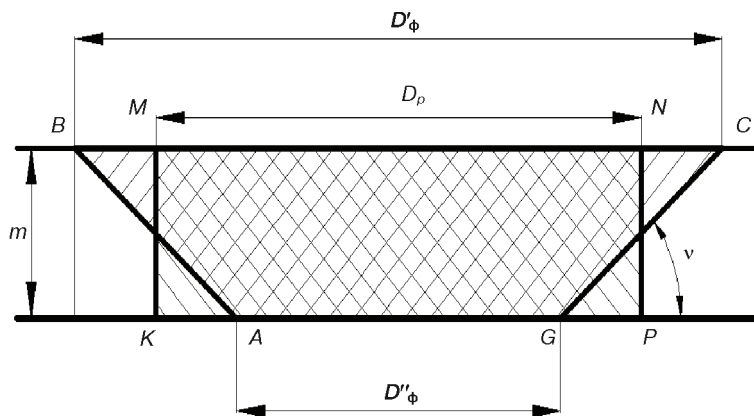
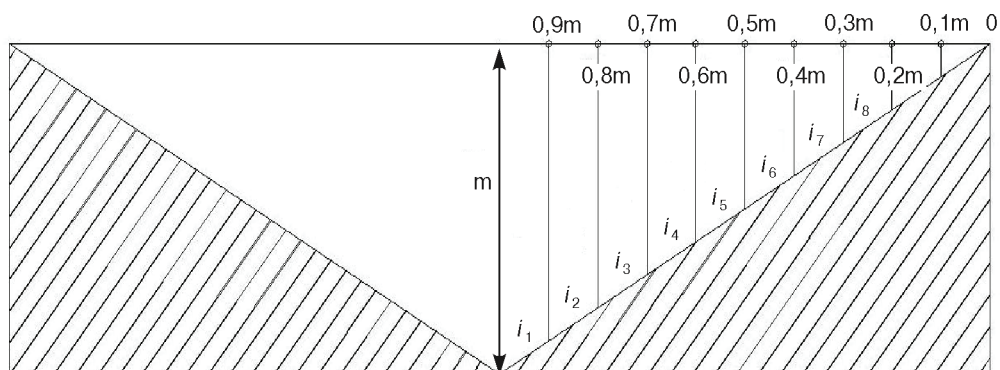


Рис. 1. Схема к определению положения выработанного пространства при треугольной форме выработанного пространства



**Рис. 2.** Схема к определению положения выработанного пространства при трапециевидной форме выработанного пространства

Потребовалось разработать специальный метод расчета ожидаемых деформаций земной поверхности, позволяющий учитывать специфику образования выработанного пространства при СГД (рис. 3).



**Рис. 3.** Схема изменения мощности выработанного пространства при СГД

В основу метода положены теоретические основы способа типовых кривых, но с существенными дополнениями.

Как было упомянуто ранее, выработанное пространство имеет треугольную форму в сечении. В связи с этим выработка оказывает неравномерное влияние на поверхность.

Оседание в каждой точке земной поверхности  $z$  определяется из выражения

$$\eta_z = \eta_m \cdot S_z, \tag{6}$$

где  $\eta_m = q \cdot m$  — максимальное оседание мулды сдвижения, т.е.

$$\eta_z = q \cdot m \cdot S_z, \tag{7}$$

где  $q$  — относительное максимальное оседание при данной степени подработанности.

Существующие методики расчета деформаций учитывают влияние выработанного пространства с постоянной мощностью. При СГД выработка имеет переменную мощность.

В этом случае выработанное пространство разбиваем на элементы  $i_1, i_2, i_3, \dots$ . Величина элементов уменьшается от центра выработанного пространства в линейной зависимости  $(1 - z)m$ .

При этом при учете (7) оседания находятся в следующей зависимости от вынужденной мощности  $m$ :

$$\eta_z = q \cdot [(1 - z) \cdot m] \cdot S_z, \quad (8)$$

или

$$\eta_z = \eta_m \cdot S_z \cdot (1 - z). \quad (9)$$

Деформации земной поверхности определяются по установленным зависимостям распределения деформаций в мульде сдвижения:

оседания

$$\eta_x = \eta_m \cdot S_z \cdot (1 - z), \quad (10)$$

наклоны

$$i_x = i'_z = \frac{\eta_m}{L} \cdot (S'_z \cdot (1 - z) - 0,1 \cdot S_z), \quad (11)$$

кривизна

$$K_x = i''_z = \frac{\eta_m}{L^2} \cdot (S''_z \cdot (1 - z) - 0,2 \cdot S'_z), \quad (12)$$

горизонтальные сдвижения

$$\xi_x = 0,5 \cdot \alpha_0 \cdot \eta_m \cdot F_z \cdot (1 - z), \quad (13)$$

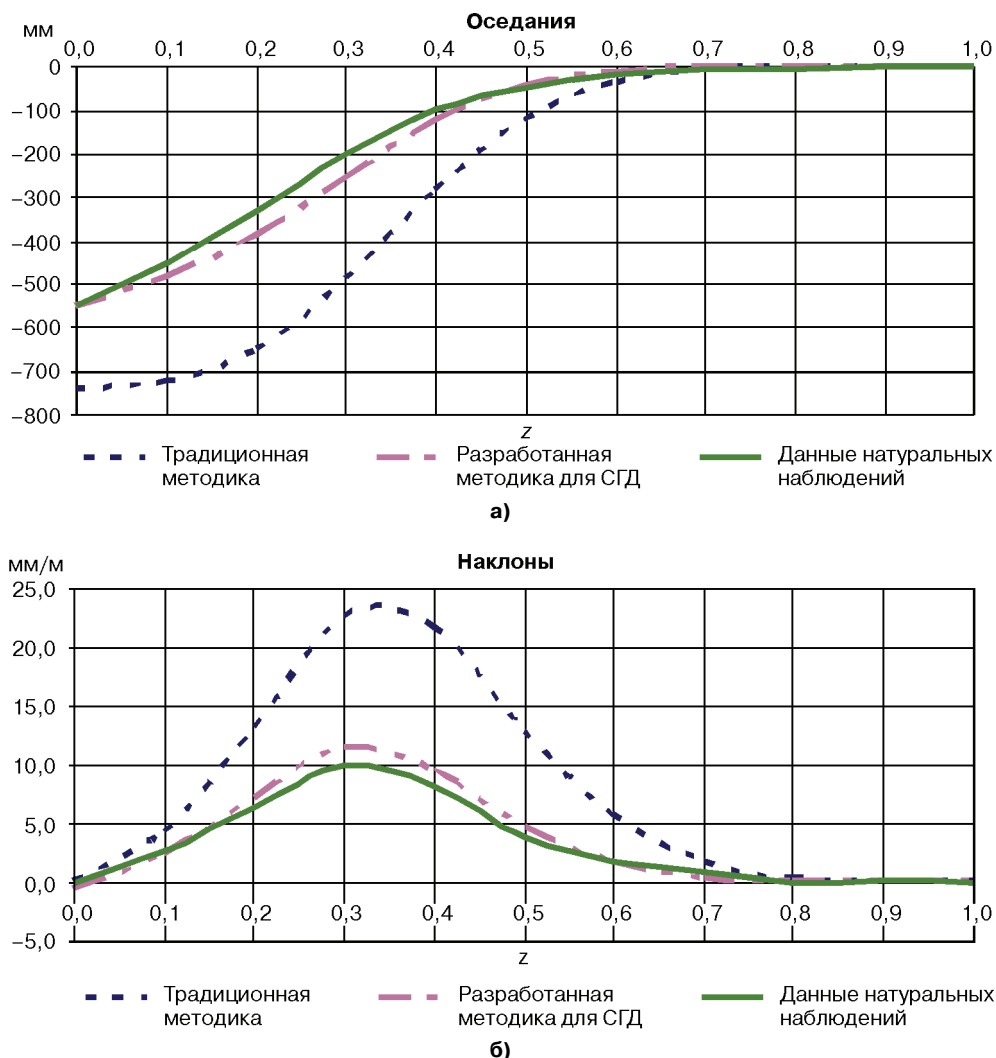
горизонтальные деформации

$$\epsilon_x = \frac{0,5 \cdot \alpha_0 \cdot \eta_m}{L} \cdot (F'_z \cdot (1 - z) - 0,1 \cdot F_z), \quad (14)$$

где  $z$  — текущая относительная координата в полумульде сдвижения.

Правомерность данного метода подтверждается результатами наблюдений за сдвижением земной поверхности на польских рудниках при подземной выплавке серы (рис. 4).

В результате сравнения деформаций, определенных по двум методикам (рис. 4), видно, что сдвижения земной поверхности при СГД носят более плавный характер, а деформации уменьшаются до 30% по сравнению с традиционными способами добычи.



**Рис. 4.** Сравнение результатов расчета деформаций, полученных по традиционной методике и по методике, разработанной для СГД, с данными натурных наблюдений:

а) оседания; б) наклоны

Таким образом, разработана принципиально новая методика расчета величин сдвижений и деформаций земной поверхности, в которой впервые учитываются особенности скважинной гидравлической выемки, имеющая важное значение для комплексного геомеханического обеспечения СГД.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Муллер Р.А. Влияние горных выработок на деформацию земной поверхности. — М.: Углетехиздат, 1958.
- [2] Певзнер М.Е., Иофис М.А., Попов В.Н. Геомеханика: Учебник для вузов. — М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2005.

- [3] Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. — СПб.: ВНИМИ, 1998.
- [4] Трубецкой К.Н., Соколов Э.М. Новые технологии добычи угля в Подмосковном бассейне // Маркшейдерский вестник. — 2008. — № 6.

## **THE FEATURES OF CALCULATION MOVEMENTS AND DEFORMATIONS OF THE SURFACE AT BOREHOLE TO HYDROMINING OPERATIONS**

**M.A. Iofis, E.N. Esina**

Department of Geodesy and Surveying  
Engineering Faculty  
People's Friendship University of Russia  
*Ordzhonikidze str, 3, Moscow, Russia, 115419*

The new calculation method of the surface movements and deformations in which for the first time prominent features of the developed space at borehole hydromining operations are considered is developed.

**Key words:** borehole hydromining operations, geomechanical maintenance, movements and deformations of a surface, subsidence, the inclinations, the developed space, a calculation method.