

## ЗА ПРЕСМЯТАНЕТО НА СЛЯГАНЕТО НА ЗЕМНАТА ПОВЪРХНОСТ ПРИ ОТКРИТ ДОБИВ И ОСОБЕНОСТИТЕ НА НЕГОВОТО ПРОЯВЛЕНИЕ

**Михаил Вълков**

*Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София*

**РЕЗЮМЕ.** Статията е в областта на минната геомеханика. Анализирани са основните причини за слягане на земната повърхност при открити минни работи. На зависимостите за определяне на преместванията в следствие водоотлив и в следствие на разтоварване на скалния масив е придадена еднотипна форма - такава, каквато има зависимостта при подземен добив. Предложена е релация за пресмятане на динамичните стойности на слягането. Съставен е алгоритъм за решаване на пространствен проблем при определяне на сляганята над геоложка нееднородност, намираща се в зоната на влияние на минните работи.

REGARDING THE OPEN PIT MINING CAUSED SUBSIDENCE AND THE TECULARITIES OF ITS APPEAREANCE

*Mihail Vulkov*

*University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia*

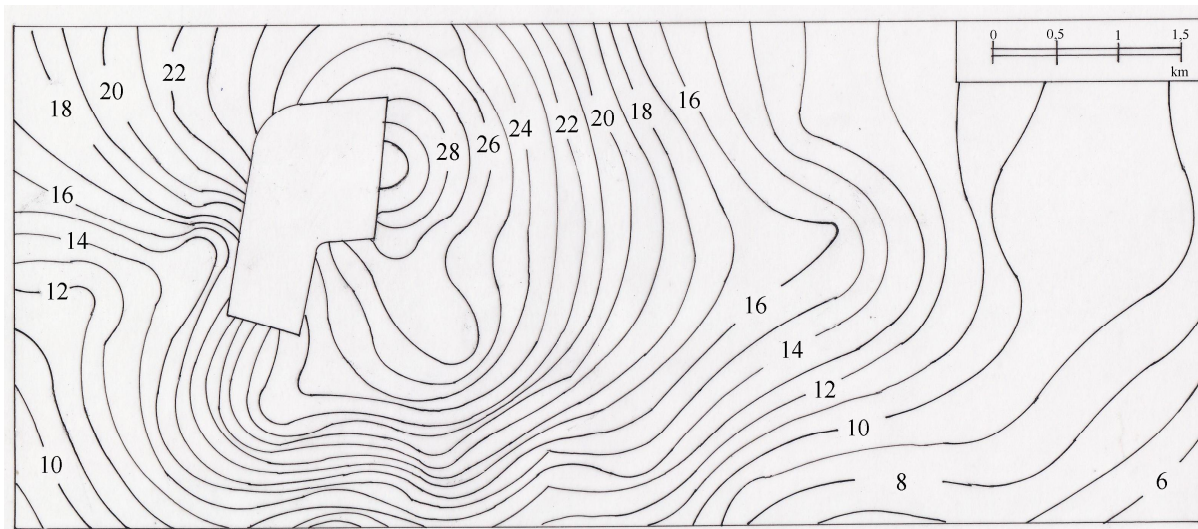
**ABSTRACT.** The paper is in the field of mining subsidence mechanics. The main causes for earth surface subsiding by open pit mining are studied. The relationship for the determining the displacements caused by mine wather drainage and by new open surfaces formation during the mining works are obtained in the same form as by the underground mining. A formula for calculating the subsidances as a function of time is suggested. An algorithm for solving the 3D problem for displacement deterring over a geological inhomogeneity in the influence area of mining is created.

Разработката е фокусирана върху определяне на вертикалните премествания на точките от земната повърхност, появяващи се в резултат на провеждане на открити минни работи.

На лице е достатъчно информация за щети, нанесени от преместванията на земната повърхност, получени в следствие на водоотливните мероприятия, които

съпътстват провеждането на минни работи по открит начин [3].

На Фиг. 1 е представена характерната картина на сляганята, получени при открит добив на полезни изкопаеми за условията на рудник Райхвалде – Германия. Там се добиват кафяви въглища.



Фиг. 1.

Това определя необходимостта от изучаването на този феномен и отчитането на появяващите се премествания при проектирането, планирането и провеждането на открити минни работи.

Процесът слягане на земната повърхност при провеждане на добив на полезни изкопаеми по открит начин се дължи основно на две причини:

- Сляганя се появяват като следствие на организирани водоотливни мероприятия, съпътстващи открития добив;

- Чрез откритите минни работи се създават свободни повърхности, способстващи за разтоварване на напреженията в скалния масив.

Равнището на вертикалните премествания, получени в следствие на открит добив (въгледобив) се характеризират с редица особености. По важни от тях са следните:

- При хомогенни скали в областта на влияние на откритите минни работи, сляганята са сравнително равномерни без рязко изменение. Такива вертикални премествания не представляват опасност за намиращи се на земната повърхност сгради, съоръжения, комуникации и природни обекти;

- Геоложки нехомогенности в структурата на пластовете, въвлечени в процеса на преместване, могат да доведат до значителни разлики в стойностите на преместванията на малки хоризонтални отсечки. Такива премествания са опасни и за тяхната поява трябва да се държи сметка във всички етапи от развитието на един открит рудник. Те могат да достигнат стойности, превишаващи критичните за наземните сгради и съоръжения.

Ако с  $w_1$  и  $w_2$  се означат съответно слягането, дължащо се на водоотлив и слягането, дължащо се на разтоварването на скалния масив при създаването на свободни повърхности като следствие на откривните и добивните работи, то общото вертикално преместване при решаване на равнинна задача се определя от:

$$w(x, H) = w_1(x, H) + w_2(x, H), \quad (1)$$

където  $w_1$  е вертикалното преместване, дължащо се на отводняването;

$w_2$  е слягането, дължащо се на разтоварването на скалния масив;

$H$  е дълбочината, до която се провежда водоотлив.

В [1] на двете компоненти на вертикалните премествания е придадена форма, аналогична на известната зависимост, т.н. "основната формула" за определяне на слягането при подземен добив, а именно:

$$w_1(x, H) = a_1 \cdot m_1 \cdot f_1(x), \quad (2)$$

където  $a_1$  е коефициент на слягане, дължащо се на водоотлив;

$m_1$  е мощността на отводнения слой;

$f_1(x)$  е функция на влияние.

Компонентата на слягането, появяващо се в следствие на разтоварването на скалния масив при провеждането на откривните и добивните работи, обичайно се представя като част от вертикалното преместване, дължащо се на водоотливните мероприятия.

Зависимостта между двете сляганя е линейна и може да бъде представена чрез формулата

$$w_2(x, H) = k \cdot w_1(x, H) = k \cdot a_1 \cdot m_1 \cdot f_1(x), \quad (3)$$

където  $k$  е бездимензионен коефициент.

На базата на статистическа обработка на данни от измервания [2] е установено, че коефициентът на пропорционалност  $k$  се изменя в границите:

$$0,03 \leq k \leq 0,05.$$

Ако интерес представляват динамичните стойности на слягането, формула (2) се разширява до вида:

$$w_1(x, H, t) = a_1 \cdot m_1 \cdot f_1(x) \cdot g(t)^*, \quad (4)$$

където  $g(t)$  е времева функция, характеризираща формирането на депресията на земната повърхност.

При приемане на предположението на С. Кноте, че скоростта на преместване на точка от земната повърхност е право пропорционална на разликата между стойностите на крайното и на моментното слягане  $w_K - w_M$ , то като се изхожда от:

$$\frac{dw}{dt} = c(w_K - w_M),$$

и след решаване на диференциалното уравнение се стига до:

$$w(x, H, t) = w_K (1 - e^{-ct}), \quad (5)$$

където крайната стойност на слягането се пресмята от (2);  $c$  е коефициент.

Коефициентът  $c$  в (5) зависи от физикомеханичните свойства на скалите.

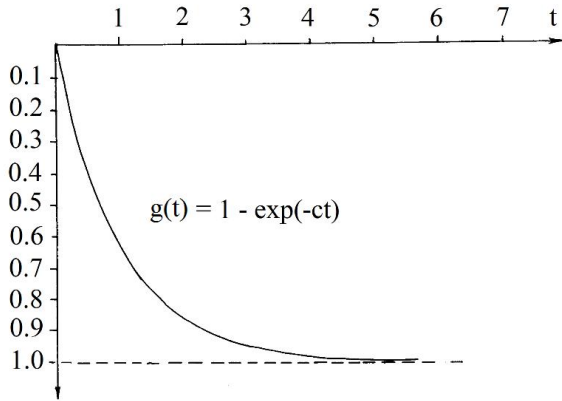
От сравнението на (4) и (5) за времевата функция се намира

\* Формула, аналогична на (4) е въведена от Х. Кайхорст през 1924 г. За определяне на вертикалните премествания, предизвикани от провеждането на подземни минни работи. Тя има вида

$w = \eta_0 \cdot m \cdot e \cdot z$ , където  $m$  е извезманата мощност;  $\eta_0$  е коефициент на слягане;  $e$  е коефициент на влияние;  $z$  е времеви фактор.

$$g(t) = 1 - e^{-ct}. \quad (6)$$

Времето функция (6) е илюстрирана на Фиг. 2:



Фиг. 2.

За оценяване на потенциалните щети на земната повърхност се вземат крайните стойности на слягането, наклоните и кривината, които се установяват след изтичането на достатъчно голям период от време.

Тогава:

$$g(t) = z = 1.$$

При решаване на пространствена задача може да се приложи представяне на пространствената функция на влияние като произведение на две функции.

$$f(x, y) = [f_1(x) \cdot f_2(y)]^b, \quad (7)$$

където  $f(x, y)$  е пространствена функция на влияние;

$f_1(x)$  е функция, описваща мулдообразуването по ос  $Ox$ ;

$f_2(y)$  е функция, описваща мулдообразуването по ос  $Oy$ ;

$b$  е коефициент на нелинейност.

Използвайки (7) за слягането се намира

$$w(x, y, H) = w_0 \cdot f(x, y), \quad (8)$$

където  $w_0 = ma_1$  е пълното слягане на точка от земната повърхност.

Ако се изчислява слягането на земната повърхност над геоложко нарушение, което може да бъде моделирано с набор от паралелепипеди, е удобно [5] формулата за слягането да се представи във вида:

$$w(x, y, H) = w_0 [F_w(x) \cdot F_w(y)]^*, \quad (9)$$

където  $x, y$  са координатите на ъгловите точки на правоъгълниците, служещи за основи на моделните паралелепипеди, определени за координатна система с начало в точка  $P(x, y)$ , в която се изчислява слягането;

$$F_w(x) = \left[ f_w \left( \frac{x_1}{R} \right) - f_w \left( \frac{x_2}{R} \right) \right];$$

$$F_w(y) = \left[ f_w \left( \frac{y_1}{R} \right) - f_w \left( \frac{y_2}{R} \right) \right];$$

$$f_w \left( \frac{x}{R} \right) = \int_{\frac{x}{R}}^{\infty} \exp \left( -\pi \frac{\pi^2}{R^2} \right) d\pi \quad \text{е нормална}$$

функция на слягането;

$x_1, y_1, x_2, y_2$  са координатите на върховете на правоъгълника;

$R = H \cot g\gamma$  е радиус на влиянието;

$H$  е дълбочината на залягане на нехомогенността;

$\gamma$  е ъгъл на влияние.

Хоризонталните премествания  $u(x, y, H)$  и  $v(x, y, H)$  на точка от земната повърхност в зоната на влияние на минните работи се определят от зависимостите на С. Г. Авершин:

$$\begin{aligned} u(x, y, H) &= -A(z) \frac{\partial w}{\partial x} = \\ &= -\frac{A(z) \cdot a_1 \cdot b \cdot m}{R} [F_w(y)]^b \cdot [F_w(x)]^{b-1} \cdot F_w'(x) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} v(x, y, H) &= -A(z) \frac{\partial w}{\partial y} = \\ &= -\frac{A(z) \cdot a_1 \cdot b \cdot m}{R} [F_w(x)]^b \cdot [F_w(y)]^{b-1} \cdot F_w'(y) \end{aligned}$$

където  $A(z)$  е зависим от дълбочината коефициент, характеризиращ скалния масив и почвения слой по отношение на мулдообразуването;

$$F_w'(x) = \left[ f_w' \left( \frac{x_1}{R} \right) - f_w' \left( \frac{x_2}{R} \right) \right];$$

$$f_w' \left( \frac{x}{R} \right) = \exp \left( -\pi \frac{x^2}{R^2} \right) \quad \text{е нормалната функция на}$$

наклоните.

За наклоните по направление на оси  $x$  и  $y$  се записва съответно:

$$i_x = \frac{\partial w}{\partial x} = -\frac{b \cdot m \cdot a_1}{R} [F_w(y)]^b \cdot [F_w(x)]^{b-1} \cdot F_w'(x); \quad (11)$$

$$i_y = \frac{\partial w}{\partial y} = -\frac{b \cdot m \cdot a_1}{R} [F_w(x)]^b \cdot [F_w(y)]^{b-1} \cdot F_w'(y).$$

\* Запазени са оригиналните означения от [5].

Кривините по направления на оси  $x$  и  $y$  се пресмятат от:

$$k_x = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = \frac{b \cdot m \cdot a_1}{R^2} [F_w(y)]^b [F_w(x)]^{b-2} \cdot \left\{ (1-b)[F_w'(x)]^2 - 2\pi [F_w(x)] \left[ \frac{x_1}{R} \cdot f_w' \left( \frac{x_1}{R} \right) - \frac{x_2}{R} \cdot f_w' \left( \frac{x_2}{R} \right) \right] \right\};$$

$$k_x = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = \frac{b \cdot m \cdot a_1}{R^2} [F_w(x)]^b [F_w(y)]^{b-2} \cdot \left\{ (1-b)[F_w'(y)]^2 - 2\pi [F_w(y)] \left[ \frac{y_1}{R} \cdot f_w' \left( \frac{y_1}{R} \right) - \frac{y_2}{R} \cdot f_w' \left( \frac{y_2}{R} \right) \right] \right\};$$

а усукването от

$$k_{xy} = \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} = -m a_1 \frac{b^2}{R^2} \left[ f_w' \left( \frac{x_1}{R} \right) - f_w' \left( \frac{x_2}{R} \right) \right] \left[ f_w' \left( \frac{y_1}{R} \right) - f_w' \left( \frac{y_2}{R} \right) \right] \cdot \left\{ \left[ f_w \left( \frac{x_1}{R} \right) - f_w \left( \frac{x_2}{R} \right) \right] \cdot \left[ f_w \left( \frac{y_1}{R} \right) - f_w \left( \frac{y_2}{R} \right) \right] \right\}^{b-1}, \quad (13)$$

Кривината по направления на оси  $X$  и  $Y$  които сключват ъгъл  $\alpha$  съответно с оси  $x$  и  $y$  се пресмята от:

$$k_\eta = k_x \cos^2 \alpha + k_y \sin^2 \alpha + k_{xy} \sin 2\alpha; \quad (14)$$

$$k_\zeta = k_x \sin^2 \alpha + k_y \cos^2 \alpha - k_{xy} \sin 2\alpha.$$

### Алгоритъм за определяне на сляганията

Разполагайки с необходимия формулен апарат, сляганята и всички останали необходими величини, свързани с тях, се определят по следния алгоритъм:

Разглежда се геоложка нееднородност, чиято проекция на хоризонталната равнина е представена на фиг.3 с пунктирна линия. В следствие на водоотлив и провежданите минни работи в областта на нееднородността се е появило слягане на земната повърхност.

1. Площта на геоложката нееднородност, имаща криволинейни граници, се покрива с три правоъгълника I, II и III. Те имат равна площ с тази на геоложката особеност.

2. В точката  $P(x, y, H)$  от земната повърхност, където се извършва пресмятането, се разполага началото на координатната система  $x, y$ , чиито оси са успоредни на страните на правоъгълници I, II и III.

3. Определят се координатите на върховете на правоъгълници I, II и III – съответно  $x_1^I, y_1^I, x_2^I, y_2^I$ ;  $x_1^{II}, y_1^{II}, x_2^{II}, y_2^{II}$ ;  $x_1^{III}, y_1^{III}, x_2^{III}, y_2^{III}$ .

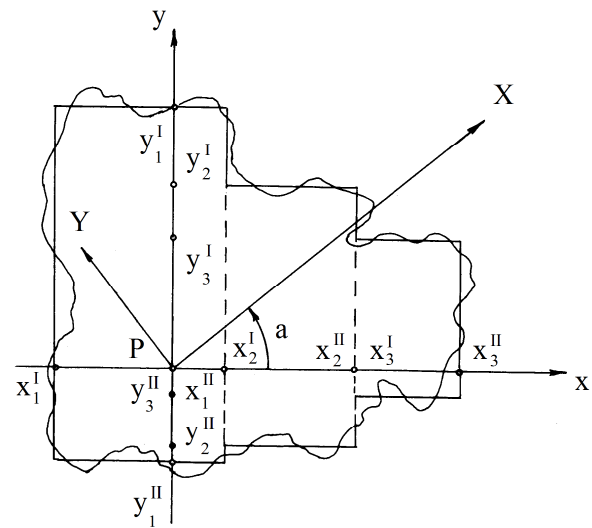
4. Пресмятат се сляганята, хоризонталните премествания, наклоните и кривините в точка  $P$  като се използва представения формулен апарат за всеки от трите правоъгълника по отделно.

5. Ефектите от трите площи се сумират.

6. Получените стойности на слягането, хоризонталните премествания, наклоните и кривините се

сравняват с допустимите по норматив за съществуващите на земната повърхност сгради и съоръжения.

7. Правят се препоръки за укрепване на съществуващите обекти, ако някои или всички от регламентирани показатели са надминати.



Фиг. 3.

### Заклучение

При провеждане на открити добивни работи се появяват премествания на точките от земната повърхност в зоната на влияние. За тези премествания трябва да се държи сметка във всички фази от съществуването на минното предприятие – проектиране, експлоатация, закриване.

Процесът на преместване при открит добив се отличава с редица особености.

Различават се динамичен период и период на установени премествания.

В началната фаза на динамичния период в крупномасщабната област, обхваната от премествания се формират локални мулди.

Въпреки, че сляганята в зоната на влияние приемат сравнително малки стойности, наклоните и кривините са значителни и често са над стойностите, определени по нормативни документи за наземните съоръжения.

Формирането на локални мулди е свързано с наличието на близки до повърхността нехомогенности в скалния масив и в почвения слой, както и със съществуващи геоложки нарушения.

В следващата фаза на водоотлива, до достигането на окончателните стойности на преместванията на земната повърхност, се наблюдава равномерно слягане. По този начин формираните в първата фаза локални мулди запазват своята форма и разположение.

С помощта на представения формулен апарат е възможно да се решават както равнинни така и пространствени задачи.

Решения могат да намират за динамичните фази, както и за установеното състояние на мулдата.

## Литература

1. Вълков М., Интегрална оценка на слягането на земната повърхност при добив на полезни изкопаеми, Варна, XI национална конференция с международно участие по открит и подводен добив на полезни изкопаеми, 2011, стр.
2. Kmittel G., Eine empirische Untersuchung von entwassertem und grundwasserentspanntem Lockergebrige. Neue Bergbautechnik, Jg.20, 2, 1990, S48-51.
3. Rasche H., J. Fenk: Senkungen der Tagesoberfläche durch Grundwasserentzug im Braunkohlenbergbau der Deutschen Demokratischen Republik, Neue Bergbautechnik, Jg.17, 1987, S128-131.
4. Несет К., Влияние фактора времени на величину сдвижений земной поверхности, вызванных подземными горными разработками, Маркшайдерское дело в социалистических странах, Выпуск 8, стр. 24-29.
5. Dzegniuk B., Fenk J., Pielok J., Analyse und Prognose von Boden-und Gebirgsbewegungen im Flotzbergbau. Freiburger Forschungshefte A 729, Leipzig, Deutscher Verlag fur Grundstoffindustrie, 1987.

*Препоръчана за публикуване от Катедра  
"Техническа механика", МТФ*