DOI: *10.18454/PMI.2017.3.298*

УДК 622.1

УГЛЫ ПОЛНЫХ СДВИЖЕНИЙ И УГЛЫ МАКСИМАЛЬНЫХ ОСЕДАНИЙ ПРИ ОТРАБОТКЕ ЛАВ ПО ДИАГОНАЛЬНЫМ К ПРОСТИРАНИЮ ПЛАСТА НАПРАВЛЕНИЯМ

Н.А.КОЛЕСНИК[1], **Г.И.КОЗЛОВСКИЙ**[1], **А.А.КАНАВЕЦ**[1]
[1] *Донецкий национальный технический университет, Донецк*

При прогнозе деформаций и определении мер охраны подрабатываемых объектов используются угловые параметры: граничные углы, углы полных сдвижений, угол максимального оседания. Значения указанных угловых параметров приведены в нормативных документах, но только для сечений вкрест и по простиранию пласта. Однако в настоящее время все чаще отработка лав производится по диагональному к простиранию пласта направлению. В связи с этим определение значений угловых параметров для таких условий является актуальной задачей.

В статье предлагается методика определения и аналитические зависимости углов полных сдвижений и углов максимальных оседаний в сечениях продольной и поперечной осей угледобывающих лав, отрабатываемых по диагональным к простиранию пласта направлениям. Названные угловые параметры используются при прогнозе деформаций земной поверхности и определении характерных зон влияния горных выработок на местности.

***Ключевые слова*:** углы полных сдвижений, углы максимальных оседаний, диагональные направления контура выработанного пространства, деформации земной поверхности

***Как цитировать эту статью*:** Колесник Н.А.Углы полных сдвижений и углы максимальных оседаний при отработке лав по диагональным к простиранию пласта направлениям / Н.А.Колесник, Г.И.Козловский, А.А.Канавец // Записки Горного института. 2017. Т. 225. С. 298-306. DOI: 10.18454/PMI.2017.3.298

Введение. Угловые параметры используются для определения границ зон влияния очистных выработок на земную поверхность и прогноза деформаций последней при подработке и охране зданий, сооружений и природных объектов [8, 12, 15]. Нормативные значения их определены многолетними исследованиями многих авторов [2, 4, 6, 9-11, 13, 14] и приведены в «Правилах подработки …» [1] только для главных сечений мульды вкрест и по простиранию пласта.

В настоящее время лавы часто отрабатываются по диагональным к простиранию пласта направлениям [5, 7]. Главными сечениями мульды следует считать сечения по продольной и поперечной оси выработки. Поэтому определение угловых параметров в названных сечениях весьма актуально.

Аналитические зависимости граничных углов в диагональных к простиранию пласта сечениях опубликованы авторами данной статьи в [3]. Поэтому в этой работе рассматриваются только углы полных сдвижений и углы максимальных оседаний.

Методика определения углов полных сдвижений и углов максимальных оседаний. Пусть произведена выемка пологого угольного пласта ($\alpha = 20°$) «диагональной» лавой в контуре I-II-III-IV (рис.1). Условно заменим площадь выемки пласта отработкой ее короткими лавами (с небольшим разрывом по времени) по простиранию (рис.1, *а*) и вкрест простирания пласта (рис.1, *б*) с остановкой линий забоев по заданному выше контуру. Тогда, согласно «Правилам подработки …» [10], получим плоское дно мульды, ограниченное линиями 2, 3, с граничными точками E_{a_i}, $E_{б_i}$ на осях «диагональной» лавы (где i – номер точек). При этом расстояния $A_iE_{a_i} \neq A_iE_{б_i}$. Теперь задача сводится к отысканию средних весовых точек E_i. Этот принцип и положен в основу предлагаемой здесь методики.

Поскольку линии под углами Ψ и Θ имеют постоянный угол наклона в коренных породах и наносах, то для упрощения расчетов процесс будем рассматривать только в толще коренных пород, приняв глубину линии выхода пласта под наносы равной ±0,0. Продлим условно подвигание линии забоя «диагональной» лавы до выхода угольного пласта под наносы (рис.2, *б*). Тогда точка M_1 будет одновременно границей выработки и плоского дна мульды, поскольку глубина $H = 0$.

Из рис.2, *б* угол падения пласта по границе I-II выработки и расстояние A_1M_1 равны:

$$\mathrm{tg}\alpha'_{\mathrm{I-II}} = \mathrm{tg}\alpha \cdot \sin\varepsilon\,,\ A_1M_1 = \frac{H_{A_1}}{\mathrm{tg}\alpha \cdot \sin\varepsilon}\,,$$

где α, ε, H_{A_1} – угол падения пласта, острый угол между продольной осью выработки и линией простирания пласта, глубина пласта в точке A_1.

DOI: *10.18454/PMI.2017.3.000*

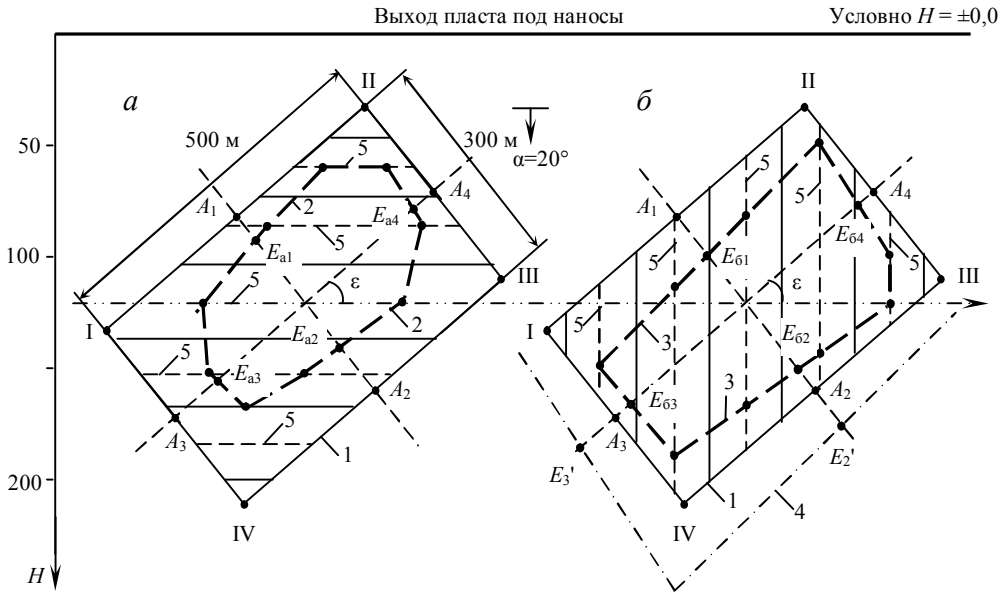


Рис.1. План «диагональной» лавы при угле падения α = 20° с условной заменой площади короткими лавами по простиранию (*а*) и вкрест простирания (*б*)

1, 2, 3 – граничные точки контура: выемки угольного пласта «диагональной» лавой; плоского дна мульды при условной замене площади короткими лавами по простиранию; то же при замене лавами вкрест простирания; 4 – при α>90°–Ψ$_1$ граница плоского дна мульды по углу Ψ$_1$ (при замене лавами вкрест простирания) располагается за контуром «диагональной» лавы; 5 – продольные оси коротких лав; ε – острый угол между продольной осью «диагональной» лавы и линией простирания пласта; A_1-A_2, A_3-A_4 – поперечная (короткая) и продольная (длинная) оси лавы

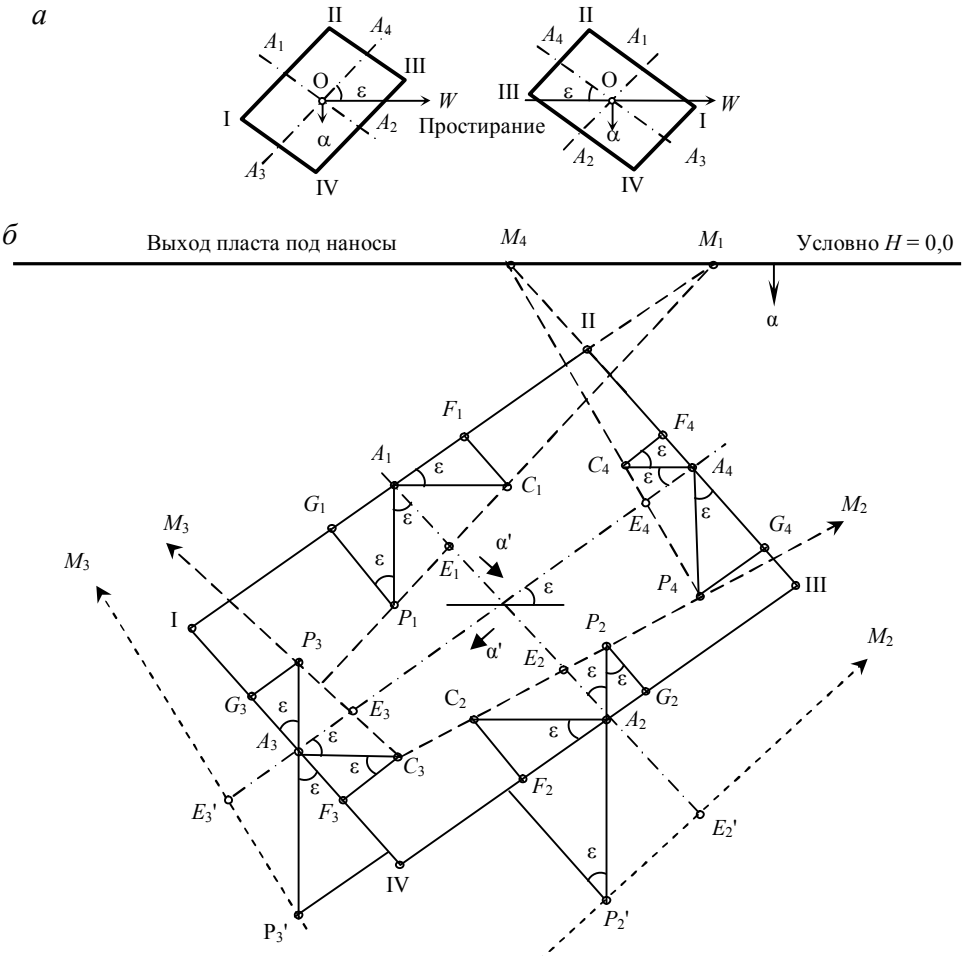


Рис. 2. Расчетные схемы определения углов полных сдвижений в осевых сечениях «диагональной» лавы:

а – схема ориентировки «диагональной» лавы относительно линии простирания пласта; *б* – схема геометрических связей между угловыми и линейными параметрами в горизонтальной проекции. См. также с.300

DOI: *10.18454/PMI.2017.3.298*

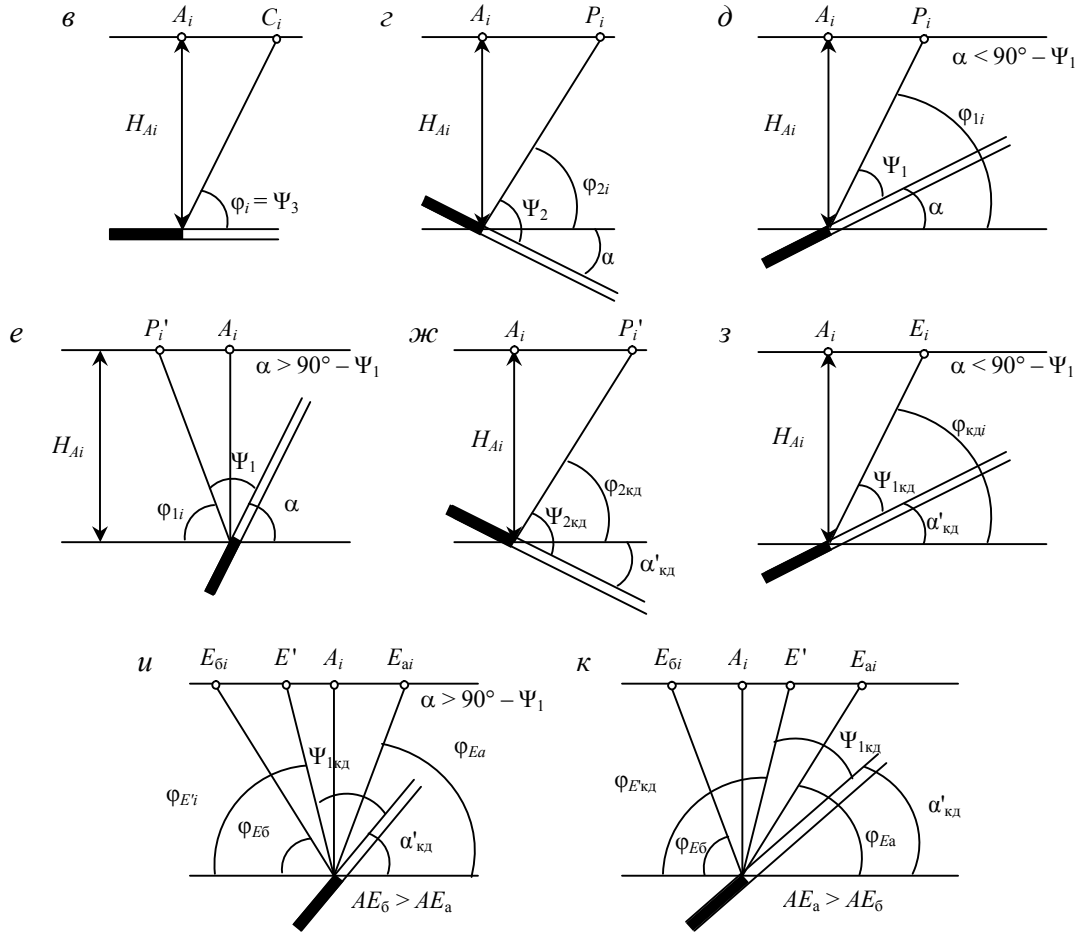


Рис. 2. Окончание. Расчетные схемы определения углов полных сдвижений в осевых сечениях «диагональной» лавы:

в-к – то же в вертикальных сечениях; A_i, C_i, P_i, P_i' – граничные точки (где i – номер точки): контура «диагональной» лавы на осевых линиях; плоского дна мульды, определяемого по углу Ψ_3 (при условной замене лавами по простиранию); то же по углам Ψ_1, Ψ_2 (при замене лавами вкрест простирания) при $\alpha<90°-\Psi_1$; то же по углу Ψ_1 (при замене лавами вкрест простирания) при $\alpha > 90° - \Psi_1$; E_i, E_i', E_{ai}, $E_{бi}$ – граничные точки плоского дна мульды на осевых линиях «диагональной» лавы: при $\alpha < 90°-\Psi_1$; при $\alpha > 90°-\Psi_1$ (*и*, *к*); при $\alpha > 90°-\Psi_1$ и замене лавами по простиранию; при $\alpha>90°-\Psi_1$ и замене лавами вкрест простирания: α, α', ε – углы: падения пласта; падения пласта в осевых сечениях «диагональной» лавы; острый угол между продольной осью лавы и линией простирания пласта; Ψ_1, Ψ_2, Ψ_3, $\Psi_{1к}$, $\Psi_{2к}$, $\Psi_{1д}$, $\Psi_{2д}$ – углы полных сдвижений на разрезах вкрест и по простиранию и в сечениях «короткой» и «длинной» оси «диагональной» лавы; φ_1, φ_2, φ_3, $\varphi_{1к}$, $\varphi_{2к}$, $\varphi_{1д}$, $\varphi_{2д}$ – углы наклона линий соответствующих углов полных сдвиженийи линейными параметрами в горизонтальной проекции

Далее определим расстояние A_1E_1 (между границей выработки и границей плоского дна мульды) раздельно при условной замене выемки лавами по простиранию (а) и вкрест простирания (б) соответственно в левой и правой части:

а)

$$A_1C_1 = \frac{H_{A_1}}{\mathrm{tg}\varphi_3} \qquad \text{(рис.2, } в\text{)},$$

$$F_1C_1 = \frac{H_{A_1}\sin\varepsilon}{\mathrm{tg}\varphi_3} \qquad \text{(рис.2, } б\text{)},$$

$$A_1F_1 = \frac{H_{A_1}\cos\varepsilon}{\mathrm{tg}\varphi_3},$$

$$A_1E_{1(\text{а})} = \frac{A_1M_1\cdot F_1C_1}{F_1M_1},$$

$$A_1E_{1(\text{а})} = \frac{H_{A_1}\sin\varepsilon}{tg\varphi_3 - tg\alpha\cdot\sin\varepsilon\cdot\cos\varepsilon};$$

б)

$$A_1P_1 = \frac{H_{A_1}}{\mathrm{tg}\varphi_2} \qquad \text{(рис.2, } г\text{)},$$

$$P_1G_1 = \frac{H_{A_1}\cos\varepsilon}{\mathrm{tg}\varphi_2} \qquad \text{(рис.2, } б\text{)},$$

$$A_1G_1 = \frac{H_{A_1}\sin\varepsilon}{\mathrm{tg}\varphi_2},$$

$$A_1E_{1(б)} = \frac{A_1M_1\cdot P_1G_1}{G_1M_1},$$

$$A_1E_{1(б)} = \frac{H_{A_1}\sin\varepsilon}{\mathrm{tg}\varphi_2 + \mathrm{tg}\alpha\cdot\sin^2\varepsilon},$$

где φ_2, φ_3 – углы наклона линий полных сдвижений на разрезах вкрест и по простиранию пласта в точке A_1 (рис.2 *в*, *г*).

Получим два значения A_1E_1 – расстояния от границы выработки до границы плоского дна мульды в сечении поперечной оси A_1–A_2 «диагональной» выработки I-II-III-IV. При $\varepsilon = 0°$ линия (граница) I-II ориентирована по простиранию пласта и на расстояние A_1E_1 оказывает влияние только угол φ_2, т.е. выражение $A_1E_{1(б)}$. Аналогично при $\varepsilon = 90°$ на A_1E_1 влияет только выражение $A_1E_{1(а)}$. При $\varepsilon = 45°$ должно быть равнозначное влияние равенств с индексами (а) и (б). Для выполнения названных условий принимаем веса $P_{(а)} = \sin\varepsilon$, $P_{(б)} = \cos\varepsilon$. Тогда среднее весовое значение расстояния A_1E_1 равно:

$$A_1E_1 = H_{A_1}\left[\frac{\sin^2\varepsilon}{(\mathrm{tg}\varphi_3 - \mathrm{tg}\alpha\cdot\sin\varepsilon\cdot\cos\varepsilon)(\sin\varepsilon+\cos\varepsilon)} + \frac{\cos^2\varepsilon}{(\mathrm{tg}\varphi_2 + \mathrm{tg}\alpha\cdot\sin^2\varepsilon)(\sin\varepsilon+\cos\varepsilon)}\right].$$

Из рис.2, *в*, *г*, *д*, *ж*:

$$\varphi_3 = \Psi_3, \quad \varphi_2 = \Psi_2 - \alpha, \quad \varphi_2 = \mathrm{arctg}\frac{H_{A_1}}{A_1E_1}.$$

Тогда

$$A_1E_1 = H_{A_1}\left[\frac{\sin^2\varepsilon}{(\mathrm{tg}\Psi_3 - \mathrm{tg}\alpha\cdot\sin\varepsilon\cdot\cos\varepsilon)(\sin\varepsilon+\cos\varepsilon)} + \frac{\cos^2\varepsilon}{(\mathrm{tg}(\Psi_2-\alpha) + \mathrm{tg}\alpha\cdot\sin^2\varepsilon)(\sin\varepsilon+\cos\varepsilon)}\right]; \quad (1)$$

$$\varphi_{2к} = \mathrm{arctg}\left\{1 : \left[\frac{\sin^2\varepsilon}{(\mathrm{tg}\Psi_3 - \mathrm{tg}\alpha\cdot\sin\varepsilon\cdot\cos\varepsilon)(\sin\varepsilon+\cos\varepsilon)} + \frac{\cos^2\varepsilon}{(\mathrm{tg}(\Psi_2-\alpha) + \mathrm{tg}\alpha\cdot\sin^2\varepsilon)(\sin\varepsilon+\cos\varepsilon)}\right]\right\}. \quad (2)$$

Формула громоздка, но проста в вычислениях. Тем не менее для упрощения ее (и последующих формул) введем обозначения: $A = \mathrm{tg}\alpha\cdot\sin\varepsilon\cdot\cos\varepsilon$, $B = \mathrm{tg}\alpha\cdot\sin^2\varepsilon$, $C = \mathrm{tg}\alpha\cdot\cos^2\varepsilon$, $Д = \sin\varepsilon + \cos\varepsilon$.

Тогда

$$\varphi_{2к} = \mathrm{arctg}\left\{1 : \left[\frac{\sin^2\varepsilon}{(\mathrm{tg}\Psi_3 - A)Д} + \frac{\cos^2\varepsilon}{(tg(\Psi_2-\alpha)+B)Д}\right]\right\}. \quad (3)$$

Из рис.2, *ж*

$$\Psi_{2к} = \varphi_{2к} + \alpha'_{A_1-A_2};$$

$$\Psi_{2к} = \varphi_{2к} + \mathrm{arctg}(\mathrm{tg}\alpha\cdot\cos\varepsilon), \quad (4)$$

где $\Psi_{2к}$, $\varphi_{2к}$ – угол полных сдвижений и угол наклона линий полных сдвижений со стороны восстания в сечении поперечной оси выработки (в точке A_1 на рис.2, *б*).

Аналогично получены аналитические зависимости для определения углов полных сдвижений: $\Psi_{2д}$ (при $\alpha < 70°$), $\Psi_{1к}$ (при $\alpha < 90° - \Psi_1$), $\Psi_{1д}$ (при $\alpha < 90° - \Psi_1$) соответственно со стороны восстания в сечении продольной оси, со стороны падения в сечении поперечной оси и со стороны падения в сечении продольной оси «диагональной» выработки. Соответствующие формулы приведены в табл.1, там же указаны принятые обозначения.

DOI: *10.18454/PMI.2017.3.298*

Дополнительно остановимся на углах полных сдвижений со стороны падения пласта в осевых сечениях «диагональной» лавы при $\alpha > 90° - \Psi_1$. В этом случае при замене площади выемки угля лавами вкрест простирания пласта граница плоского дна мульды располагается над целиком угля, вне контура выемки (рис.2, *е*). Детали рассмотрим на примере угла $\Psi_{1к}$ у точки A_2 (рис.2, *б*). Здесь расстояние A_2E_2, при замене площади выемки угля лавами по простиранию находим (по прежней методике) по формуле:

$$A_2E_{2(а)} = \frac{H_{A_2}\sin\varepsilon}{\mathrm{tg}\varphi_3 + \mathrm{tg}\alpha\cdot\sin\varepsilon\cdot\cos\varepsilon}. \quad (5)$$

При замене площади выемки угля лавами вкрест простирания точка $E_б$ располагается за контуром «диагональной» лавы и расстояние $A_2E_{2(б)}$ определяется по формуле (рис.2, *к*):

$$\mathrm{A}_2E_{2(б)} = \frac{H_{\mathrm{A}_2}\cos\varepsilon}{\mathrm{tg}\varphi_1 + \mathrm{tg}\alpha\cdot\sin^2\varepsilon}. \quad (6)$$

Согласно обоснованию, изложенному выше, принимаем веса: $P_{A_2E_2(а)} = \sin\varepsilon$, $P_{A_2E_2(б)} = \cos\varepsilon$.

Тогда среднее весовое значение

$$A_2E_2 = H_{A_2}\left[\frac{\sin^2\varepsilon}{(\mathrm{tg}\varphi_3 + \mathrm{tg}\alpha\cdot\sin\varepsilon\cdot\cos\varepsilon)(\sin\varepsilon+\cos\varepsilon)} - \frac{\cos^2\varepsilon}{(\mathrm{tg}\varphi_1 + \mathrm{tg}\alpha\cdot\sin^2\varepsilon)(\sin\varepsilon+\cos\varepsilon)}\right].$$

Подставим значения $\varphi_3 = \Psi_3$ (рис.2, *в*), $\varphi_1 = 180° - (\Psi_1 + \alpha)$ (рис.2, *е*) и $\varphi_{1к} = \frac{H_{A_2}}{A_2E_2}$.

Тогда

$$A_2E_2 = H_{A_2}\left[\frac{\sin^2\varepsilon}{(\mathrm{tg}\Psi_3 + \mathrm{tg}\alpha\cdot\sin\varepsilon\cdot\cos\varepsilon)(\sin\varepsilon+\cos\varepsilon)} - \frac{\cos^2\varepsilon}{(\mathrm{tg}\alpha\cdot\sin^2\varepsilon - \mathrm{tg}(\Psi_1+\alpha))(\sin\varepsilon+\cos\varepsilon)}\right]; \quad (7)$$

$$\varphi_{1к} = \mathrm{arctg}\left\{1 : \left[\frac{\sin^2\varepsilon}{(\mathrm{tg}\Psi_3 + \mathrm{tg}\alpha\cdot\sin\varepsilon\cdot\cos\varepsilon)(\sin\varepsilon+\cos\varepsilon)} - \frac{\cos^2\varepsilon}{(\mathrm{tg}\alpha\cdot\sin^2\varepsilon - \mathrm{tg}(\Psi_1+\alpha))(\sin\varepsilon+\cos\varepsilon)}\right]\right\} \quad (8)$$

или с учетом указанных ранее обозначений

$$\varphi_{1к} = \mathrm{arctg}\left\{1 : \left[\frac{\sin^2\varepsilon}{(\mathrm{tg}\Psi_3 + A)Д} - \frac{\cos^2\varepsilon}{(B - \mathrm{tg}(\Psi_1+\alpha))Д}\right]\right\}. \quad (9)$$

Если по расчету окажется $\varphi_{1к2} > 0°$ (т.е. $A_iE_{ai} > A_iE_{бi}$), то граничная точка E' плоского дна мульды «диагональной» лавы расположена внутри контура I-II-III-IV (рис.2, *к*) и угол полных сдвижений равен:

$$\Psi_{1к} = \varphi_{1к} - \alpha'_{A_1-A_2};$$

$$\Psi_{1к} = \varphi_{1к} - \mathrm{arctg}(\mathrm{tg}\alpha\cdot\cos\varepsilon). \quad (10)$$

При $\varphi_{1к2} < 0°$ (рис.2, *к*)

$$\Psi_{1к} = 180^{\circ} - \left|\varphi_{1к_2}\right| - \alpha'_{A_1-A_2};$$

$$\Psi_{1к} = 180^{\circ} - \left|\varphi_{1к_2}\right| - \operatorname{arctg}(tg\alpha \cdot \cos\varepsilon). \quad (11)$$

Аналогично аналитическая зависимость определена для угла Ψ_1 (у точки A_3 на рис.2, *б*) полных сдвижений со стороны падения в сечении продольной оси «диагональной» выработки. Формулы приведены в табл. 1.

Методику определения углов максимальных оседаний рассмотрим на примере сечения по поперечной оси A_1–A_2 «диагональной» выработки (рис.3).

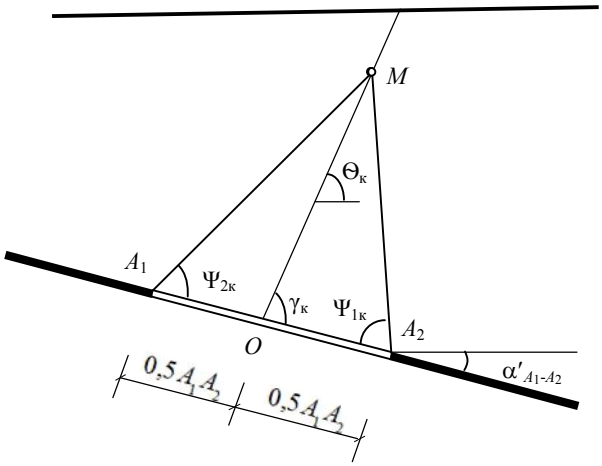


Рис.3. Разрез по поперечной оси A_1–A_2 «диагональной» выработки

Из треугольника A_1MA_2 (рис.3)

$$A_1M = \frac{A_1A_2 \sin\Psi_{1к}}{\sin(\Psi_{1к} + \Psi_{2к})}; \quad A_2M = \frac{A_1A_2 \sin\Psi_{2к}}{\sin(\Psi_{1к} + \Psi_{2к})}.$$

Линия *OM*, проведенная из середины выработки под углом максимальных оседаний, является медианой треугольника и длина ее определяется по формуле

$$OM = \frac{1}{2}\sqrt{2\left(A_1M^2 + A_2M^2\right) - A_1A_2{}^2};$$

$$OM = \frac{A_1A_2}{2\sin(\Psi_{1к} + \Psi_{2к})}\sqrt{2(\sin^2\Psi_{1к} + \sin^2\Psi_{2к}) - \sin^2(\Psi_{1к} + \Psi_{2к})}.$$

Из треугольника OMA_2

$$\sin\gamma = \frac{A_2M \sin\Psi_{1к}}{OM};$$

$$\gamma_к = \arcsin\left[\frac{2\sin\Psi_{1к}\sin\Psi_{2к}}{\sqrt{2(\sin^2\Psi_{1к} + \sin^2\Psi_{2к}) - \sin^2(\Psi_{1к} + \Psi_{2к})}}\right]. \quad (12)$$

Угол максимальных оседаний $\theta_к$ в сечении поперечной оси «диагональной» выработки:

$$\theta_к = \gamma_к - \operatorname{arctg}\alpha'_{A_1-A_2}$$

$$\theta_к = \arcsin\left[\frac{2\sin\Psi_{1к}\sin\Psi_{2к}}{\sqrt{2\left(\sin^2\Psi_{1к} + \sin^2\Psi_{2к}\right) - \sin^2\left(\Psi_{1к} + \Psi_{2к}\right)}}\right] - \operatorname{arctg}\left(\operatorname{tg}\alpha \cdot \cos\varepsilon\right). \quad (13)$$

Аналогично в сечении продольной оси «диагональной» выработки

$$\gamma_д = \arcsin\left[\frac{2 \cdot \sin\Psi_{1д}\sin\Psi_{2д}}{\sqrt{2\left(\sin^2\Psi_{1д} + \sin^2\Psi_{2д}\right) - \sin^2\left(\Psi_{1д} + \Psi_{2д}\right)}}\right]; \quad (14)$$

$$\theta_д = \arcsin\left[\frac{2\sin\Psi_{1д}\sin\Psi_{2д}}{\sqrt{2\left(\sin^2\Psi_{1д} + \sin^2\Psi_{2д}\right) - \sin^2\left(\Psi_{1д} + \Psi_{2д}\right)}}\right] - \operatorname{arctg}\left(\operatorname{tg}\alpha \cdot \cos\varepsilon\right). \quad (15)$$

DOI: 10.18454/PMI.2017.3.298

Таблица 1

Формулы определения углов наклона линий (φ) и углов полных сдвижений (Ψ) в сечении поперечной (индекс к) и продольной (индекс д) оси «диагональной» выработки

Сечения	Границы выработок (рис. 2 б)	Углы наклона линий под углами полных сдвижений	Углы полных сдвижений
По поперечной (короткой) оси выработки (A_1–A_2 на рис.2)	У верхней границы выработки (у точки A_1) при $\alpha < 70°$	$\varphi_{2к} = \operatorname{arctg}\left\{1 : \left[\frac{\sin^2\varepsilon}{(\operatorname{tg}\Psi_3 - A)Д} + \frac{\cos^2\varepsilon}{(\operatorname{tg}(\Psi_2 - \alpha) + B)Д}\right]\right\}$	$\Psi_{2к} = \varphi_{2к} + \operatorname{arctg}\left(\operatorname{tg}\alpha \cdot \cos\varepsilon\right)$
	У нижней границы выработки (у точки A_2) при $\alpha < 90° - \Psi_1$	$\varphi_{1к} = \operatorname{arctg}\left\{1 : \left[\frac{\sin^2\varepsilon}{(\operatorname{tg}\Psi_3 + A)Д} + \frac{\cos^2\varepsilon}{(\operatorname{tg}(\Psi_1 + \alpha) - B)Д}\right]\right\}$	$\Psi_{1к} = \varphi_{1к} - \operatorname{arctg}\left(\operatorname{tg}\alpha \cdot \cos\varepsilon\right)$
	У нижней границы выработки (у точки A_2) при $\alpha > 90° - \Psi_1$	$\varphi_{1к} = \operatorname{arctg}\left\{1 : \left[\frac{\sin^2\varepsilon}{(\operatorname{tg}\Psi_3 + A)Д} - \frac{\cos^2\varepsilon}{(B - \operatorname{tg}(\Psi_1 + \alpha))Д}\right]\right\}$	При $\varphi_{1к} > 0°$ $\Psi_{1к} = \varphi_{1к} - \operatorname{arctg}\left(\operatorname{tg}\alpha \cdot \cos\varepsilon\right)$ При $\varphi_{1к} < 0°$ $\Psi_{1к} = 180° - \lvert\varphi_{1к}\rvert - \operatorname{arctg}\left(\operatorname{tg}\alpha \cdot \cos\varepsilon\right)$
По продольной (длинной) оси выработки (A_3–A_4 на рис.2)	У верхней границы выработки (у точки A_4) при $\alpha < 70°$	$\varphi_{2д} = \operatorname{arctg}\left\{1 : \left[\frac{\cos^2\varepsilon}{(\operatorname{tg}\Psi_3 - A)Д} + \frac{\sin^2\varepsilon}{(\operatorname{tg}(\Psi_2 - \alpha) + C)Д}\right]\right\}$	$\Psi_{2д} = \varphi_{2д} + \operatorname{arctg}\left(\operatorname{tg}\alpha \cdot \sin\varepsilon\right)$
	У нижней границы выработки (у точки A_3) при $\alpha < 90° - \Psi_1$	$\varphi_{1д} = \operatorname{arctg}\left\{1 : \left[\frac{\cos^2\varepsilon}{(\operatorname{tg}\Psi_3 + A)Д} + \frac{\sin^2\varepsilon}{(\operatorname{tg}(\Psi_1 + \alpha) - C)Д}\right]\right\}$	$\Psi_{1д} = \varphi_{1д} - \operatorname{arctg}\left(\operatorname{tg}\alpha \cdot \sin\varepsilon\right)$
	У нижней границы выработки (у точки A_3) при $\alpha > 90° - \Psi_1$	$\varphi_{1д} = \operatorname{arctg}\left\{1 : \left[\frac{\cos^2\varepsilon}{(\operatorname{tg}\Psi_3 + A)Д} - \frac{\sin^2\varepsilon}{(C - \operatorname{tg}(\Psi_1 + \alpha))Д}\right]\right\}$	При $\varphi_{1д} > 0°$ $\Psi_{1д} = \varphi_{1д} - \operatorname{arctg}\left(\operatorname{tg}\alpha \cdot \sin\varepsilon\right)$ При $\varphi_{1д} < 0°$ $\Psi_{1д} = 180° - \lvert\varphi_{1д}\rvert - \operatorname{arctg}\left(\operatorname{tg}\alpha \cdot \sin\varepsilon\right)$

Примечание. $A = \operatorname{tg}\alpha \cdot \sin\varepsilon \cdot \cos\varepsilon$, $B = \operatorname{tg}\alpha \cdot \sin^2\varepsilon$, $C = \operatorname{tg}\alpha \cdot \cos^2\varepsilon$, $Д = \sin\varepsilon + \cos\varepsilon$; Ψ_1, Ψ_2, Ψ_3 – углы полных сдвижений в сечениях вкрест и по простиранию пласта [1]); α – угол падения пласта; ε – острый угол между продольной (длинной) осью выработки и линией простирания пласта.

Выводы. Таким образом, авторами статьи предложена методика определения и аналитические зависимости углов полных сдвижений и углов максимальных оседаний в сечениях продольной и поперечной осей угледобывающих лав, отрабатываемых по диагональным к простиранию пласта направлениям.

Таблица 2

Углы наклона линий полных сдвижений φ (на разрезе) и углы полных сдвижений Ψ в сечениях поперечных осей «диагональных» выработок, рассчитанные по формулам табл. 1 ($\Psi_1 = 55°$; $\Psi_2 = 55° + 0{,}3\alpha$; $\Psi_3 = 55°$)

Угол падения пласта α, град.	Угол между продольной осью выработки и простиранием пласта ε, град.	Углы наклона линий полных сдвижений в сечении поперечной оси выработки, град.		Углы полных сдвижений в сечении поперечной оси выработки, град.	
		Со стороны восстания $\varphi_{2к}$	Со стороны падения $\varphi_{1к}$	Со стороны восстания $\Psi_{2к}$	Со стороны падения пласта $\Psi_{1к}$
20	0	41,0	75,0	61,0	55,0
	20	50,5	76,2	69,4	57,3
	40	57,2	73,4	72,8	57,8
	60	59,4	68,2	69,7	57,9
	80	57,6	60,3	61,2	56,7
	90	55,0	55,0	55,0	55,0
40	0	27,0	–85,0	67,0	55,0
	20	39,5	–89,7	77,8	52,1
	40	52,2	82,9	84,9	50,2
	60	55,9	73,8	78,7	51,0
	80	56,1	62,1	64,4	53,8
	90	55,0	55,0	55,0	55,0
60	0	13,0	–65,0	73,0	55,0
	20	30,6	–76,1	89,0	45,5
	40	46,5	–89,0	99,5	38,0
	60	47,1	78,7	88,0	37,9
	80	53,0	64,4	69,8	47,7
	90	55,0	55,0	55,0	55,0

Примечание. При $\varphi < 0°$ граница плоского дна мульды расположена за контурами выработки, т.е. над угольным целиком (точка *E*’ на рис.2, *к*)

Таблица 3

Углы наклона линий полных сдвижений φ (на разрезе) и углы полных сдвижений Ψ в сечениях продольных осей «диагональных» выработок, рассчитанные по формулам табл. 1 ($\Psi_1 = 55°$; $\Psi_2 = 55° + 0{,}3\alpha$; $\Psi_3 = 55°$)

Угол падения пласта α, град.	Угол между продольной осью выработки и простиранием пласта ε, град.	Углы наклона линий полных сдвижений в сечении продольной оси выработки, град.		Углы полных сдвижений в сечении продольной оси выработки, град.	
		Со стороны восстания $\varphi_{2д}$	Со стороны падения $\varphi_{1д}$	Со стороны восстания $\Psi_{2д}$	Со стороны падения пласта $\Psi_{1д}$
20	0	55,0	55,0	55,0	55,0
	20	58,9	64,7	66,0	57,6
	40	58,9	71,1	72,0	57,9
	60	54,4	75,1	71,9	57,6
	80	45,9	76,4	65,6	56,7
	90	41,0	75,0	61,0	55,0
40	0	55,0	55,0	55,0	55,0
	20	56,3	68,3	72,3	52,3
	40	54,9	78,6	83,2	50,3
	60	46,9	86,9	82,9	50,8
	80	32,2	–86,8	71,8	53,7
	90	27,0	–85,0	67,0	55,0

DOI: *10.18454/PMI.2017.3.298*

Окончание табл.3

Угол падения пласта α, град.	Угол между продольной осью выработки и простиранием пласта ε, град.	Углы наклона линий полных сдвижений в сечении продольной оси выработки, град.		Углы полных сдвижений в сечении продольной оси выработки, град.	
		Со стороны восстания $\varphi_{2д}$	Со стороны падения $\varphi_{1д}$	Со стороны восстания $\Psi_{2д}$	Со стороны падения пласта $\Psi_{1д}$
60	0	55,0	55,0	55,0	55,0
	20	49,9	72,1	80,5	41,5
	40	46,2	84,9	94,3	36,8
	60	42,4	–82,7	98,7	41,0
	80	18,5	–69,9	78,2	50,5
	90	13,0	–65,0	73,0	55,0

Примечание. При $\varphi < 0°$ граница плоского дна мульды расположена за контурами выработки, т.е. над угольным целиком (точка Е’ на рис.2, *к*).

Для зрительного восприятия в табл. 2, 3 приведены рассчитанные по формулам табл. 1 значения углов наклона линий полных сдвижений (φ) и углов полных (Ψ) сдвижений в осевых сечениях «диагональных» лав. Они позволяют проследить характер изменения названных углов в зависимости от угла падения пласта α и угла ε между продольной осью выработки и простиранием пласта. Это в свою очередь облегчает прогноз деформаций земной поверхности от влияния горных выработок.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГСТУ 101.00159226.001. Правила підробки будівель, споруд і природних об’єктів при видобуванні вугілля підземним способом. Киев: Мінпаливенерго, 2004. 128 с.

2. *Зоря Н.М.* Схема механизма сдвижения толщи пород при выемке пологих пластов угля одиночной лавой. Н.М.Зоря, Ф.И.Музафаров // Уголь Украины. 1966. № 12. С. 9-12.

3. *Колесник Н.А.* Мульда сдвижения и граничные углы в коренных породах при отработке лав по диагональным к простиранию направлениям / Н.А.Колесник, Г.И.Козловский, А.С.Мухина // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. Днепропетровск. 2014. Вып. 118. С. 191-200.

4. *Кратч Г.* Сдвижение горных пород и защита подрабатываемых сооружений: Пер. с нем. / Под ред. Р.А.Муллера. М.: Недра, 1978. 496 с.

5. *Ларченко В.Г.* Сдвижения и деформации подработанного массива горных пород // Сталий розвиток гірничо-металургійної промисловості: Матеріали конференції // Вісник Криворізького технічного університету. Кривий Ріг. 2004. № 6. С. 93-96.

6. Маркшейдерское дело / Д.Н.Оглоблин, Г.И.Герасименко, А.Г.Акимов и др. М.: Недра, 1981. 704 с.

7. *Медянцев А.Н.* Наблюдения по площади за сдвижением земной поверхности от подземных выработок / А.Н.Медянцев, И.Ю.Иванов // Маркшейдерское обеспечение рационального использования и охраны недр: Сб. науч. тр. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. Новочеркасск, 2004. С. 75-81.

8. *Посыльный Ю.В.* Погрешности определения граничных величин сдвижений и деформаций земной поверхности // Маркшейдерское дело и геодезия. 1978. Вып. 5. С.26-30.

9. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. М.: Недра, 1981. 288 с.

10. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. СПб: Недра, 1998. 270 с.

11. Сдвижение горных пород и земной поверхности при подземных разработках / В.И.Борщ-Компонеец, И.М.Батугина, В.М.Варлашкин и др.; Под ред. В.А.Букринского, Г.В.Орлова. М.: Недра, 1984. 247 с.

12. *Четверик М.С.* Определение параметров зоны деформаций растяжений в мульде сдвижения / М.С.Четверик, М.А.Синенко // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАНУ. Днепропетровск, 2011. Вып. 95. С. 162-168.

13. *Kratzsch H.* Mining subsidence engineering. Berlin: Springer-Verlag, 1983. 543 p.

14. *Peng S.S.* Surface subsidence engineering. Littleton: SMME, 1992. 160 p.

15. *Thongprapha T.* Study of surface subsidence above an underground opening using a trap door apparatus / T.Thongprapha, K.Fuenkajorn, J.J.K.Daemen // Tunnelling and Underground Space Technology. February 2015. Vol.46. P.94-103.

***Авторы*: Н.А.Колесник,** *канд. техн. наук, доцент, kolesniknatalka@gmail.com* (*Донецкий национальный технический университет, Донецк*), **Г.И.Козловский,** *канд. техн. наук, доцент, kolesniknatalka@gmail.com* (*Донецкий национальный технический университет, Донецк*), **А.А.Канавец,** *ассистент, yahy@meta.ua* (*Донецкий национальный технический университет, Донецк*).

Статья принята к публикации 13.03.2017.