

УДК 622.834

к.т.н. Ларченко В. Г.,
Коваленко Е. В.,
Маталкина Ю. А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА ОЖИДАЕМЫХ СДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ДОБЫЧЕ УГЛЯ

Приведена скорректированная методика расчёта ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности в главных сечениях мульды при добыче угля подземным способом.

Ключевые слова: расчёт сдвижений и деформаций земной поверхности, скорректированная методика, подземная разработка угольных пластов, граничные углы.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Маркшейдерская служба шахт несёт ответственность за безопасную подработку инженерных сооружений, коммуникаций и природных объектов, за выбор оптимальных мер их охраны, основой которых являются максимальные ожидаемые или вероятные сдвижения и деформации земной поверхности. Предварительно определить последние можно расчётом по методикам отраслевых стандартов Украины [1] или РФ [2], где основным параметром является максимальное оседание η_m , вычисляемое с 1972 года по нормативным документам [1–4] по одной и той же формуле. Выполненные исследования [5–7] показали (табл. 1, рис. 1), что при постоянных отношениях размеров выработанного пространства D к глубине подработки H и полной подработке в горно-геологических условиях ($\frac{D_2}{H} = 1, 2, \dots, m = 1 \text{ м}, \alpha = 5^\circ, D_1 = 2000 \text{ м}, \frac{l}{H} \geq 0,8, \frac{h}{H} \leq 0,3$) η_m возрастает с увеличением H от 100 до 1000 м, а при дальнейшем возрастании H η_m остаётся постоянной величиной, то есть не зависит от H . При отношении размеров целика l у соответствующей границы к H , равном 0,4 (в районах кроме разработки антрацита), η_m не зависит от H при её увеличении от 100 до 1600 м (рис. 1, прямая 4), что противоречит основным положениям геомеханики и сдвижения сло-

стой толщи горных пород и указывает на необходимость корректировки методики расчёта ожидаемых и вероятных сдвижений и деформаций земной поверхности, а это является актуальной научной и практической задачей угольной отрасли.

Постановка задачи. Задачей данного этапа исследований является корректировка методики расчёта ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности в главных сечениях мульды.

Изложение материала и его результаты. На параметры процесса сдвижений и деформаций земной поверхности влияет более 10 факторов. Глубина очистных работ и литология толщи пород являются одними из главных. Они учитывались при расчётах максимальных оседаний в нормативных документах [1–4] коэффициентами N_1, N_2 и относительной величиной q_0 , подтверждены натурными наблюдениями, в основном при H до 600 м, но, как показывают исследования [5–7], при больших глубинах её влияние на параметры сдвижений и деформаций подработанного массива горных пород не является достаточным.

Поэтому целью данного этапа исследований является корректировка методик расчёта ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности [1, 2] в главных сечениях мульды, так как на многих шахтах Донбасса уголь добывают на глубинах более 1000 м, а влияние H на η_m учтено недостаточно (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1
Максимальные оседания и деформации земной поверхности при различных H по методике [1]

$H, \text{ м}$	$\eta_m, \text{ м}$		$L_3, \text{ м}$	$i_m \cdot 10^{-3}$	$\varepsilon_m \cdot 10^{-3}$
	$\frac{l}{H} > 0,8$	$\frac{l}{H} = 0,4$			
100	0,741	0,798	106,4	14,2	-6,7
200	0,742	0,798	212,8	7,10	-3,4
300	0,749	0,798	319,2	4,80	-2,3
400	0,757	0,798	425,5	3,72	-1,79
500	0,764	0,798	532	3,03	-1,47
600	0,771	0,798	638,4	2,58	-1,25
700	0,779	0,798	744,8	2,27	-1,09
800	0,786	0,798	851,2	2,01	-0,98
900	0,794	0,798	957,6	1,82	-0,90
1000	0,797	0,798	1064	1,65	-0,82
1100	0,798	0,798	1170,4	1,50	-0,74
1200	0,798	0,798	1276,8	1,37	-0,68
1300	0,798	0,798	1383,2	1,27	-0,63
1400	0,798	0,798	1489,5	1,18	-0,59
1500	0,798	0,798	1596	1,10	-0,55
1600	0,798	0,798	1702,4	1,0	-0,51

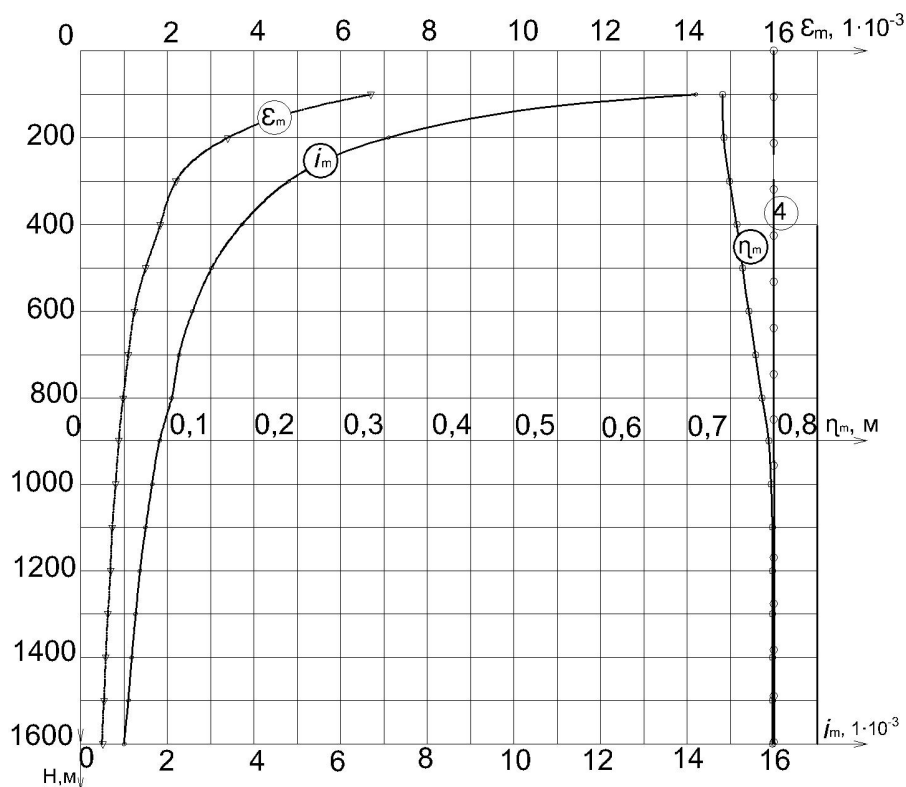


Рисунок 1 Графики зависимости максимальных оседаний η_m , наклонов i_m и горизонтальных деформаций ε_m земной поверхности от H по методике [1] при $\frac{D_2}{H} = 1,2$, $q_0 = 0,8$, $\frac{l}{H} \geq 0,8$

Исследования выполнялись методами натуральных наблюдений [8–10], физическим и математическим моделированием методом конечных элементов [11], теоретическим [5–7].

Рекомендуем расчёт сдвижений и деформаций земной поверхности выполнять по скорректированным формулам (1–13):

1) максимальное оседание:

$$\eta_m = q_0 \cdot m \cdot \cos \alpha \cdot N_1 \cdot N_2 - K_p \cdot H^2, \text{ м}; \quad (1)$$

2) сдвижения и деформации в точках главных сечений мульды сдвижения:

– оседание:

$$\eta_{x,y} = \eta_m \cdot S(Z_{x,y}), \text{ м}; \quad (2)$$

– наклоны:

вкрест простирания

$$i_y = \frac{\eta_m}{L_{1(2)}} \cdot S'(Z_y), \quad (3)$$

по простиранию

$$i_x = \frac{\eta_m}{L_3} \cdot S'(Z_x); \quad (4)$$

– кривизна:

вкрест простирания

$$k_y = \frac{\eta_m}{L_{1(2)}^2} \cdot S''(Z_y), \quad (5)$$

по простиранию

$$k_x = \frac{\eta_m}{L_3^2} \cdot S''(Z_x); \quad (6)$$

– горизонтальные сдвижения:

по падению

$$\xi_{y1} = 0,5 \cdot a_0 \cdot \eta_m \left[S'(Z_{y1}) + 2BS(Z_{y1}) \right], \text{ м} \quad (7)$$

по восстанию

$$\xi_{y2} = -0,5 \cdot a_0 \cdot \eta_m \left[S'(Z_{y2}) - 2BS(Z_{y2}) \right], \text{ м} \quad (8)$$

по простиранию

$$\xi_x = 0,5 \cdot a_0 \cdot \eta_m \cdot S'(Z_x), \text{ м}, \quad (9)$$

$$B = \frac{1}{\alpha_0} \left(\operatorname{tg} \alpha - \frac{h + h_m}{H_{cp}} \right) \geq 0; \quad (10)$$

– горизонтальные деформации:
по падению

$$\varepsilon_{y1} = 0,5 a_0 \frac{\eta_m}{L_1} \left[S''(Z_{y1}) + 2BS'(Z_{y1}) \right], \quad (11)$$

по восстанию

$$\varepsilon_{y2} = 0,5 a_0 \frac{\eta_m}{L_2} \left[S''(Z_{y2}) - 2BS'(Z_{y2}) \right], \quad (12)$$

по простиранию

$$\varepsilon_x = 0,5 a_0 \frac{\eta_m}{L_3} S''(Z_x), \quad (13)$$

где q_0 , a_0 — относительные величины максимального оседания и горизонтальных сдвижений, определяемые по таблице А-1 [1];

m — вынимаемая мощность пласта, м;

α — угол падения пласта, градус;

N_1 , N_2 — коэффициенты, характеризующие степень подработанности земной поверхности соответственно вкрест протирания и по простиранию, безразмерные величины, определяемые по формулам (14):

$$N_1 = \sqrt{0,9 \frac{D_1}{H}}; \quad N_2 = \sqrt{0,9 \frac{D_2}{H}}, \quad (14)$$

где D_1 , D_2 — суммарные длины смежных очистных выработок соответственно вкрест простирания и по простиранию пласта, м; H — средняя глубина разработки, м; K_p — коэффициент остаточных межслоевых расслоений (разуплотнений) подработанной толщи пород, зависящий от литологии массива, мощности, прочности и количества слоёв горных пород, предварительно установленный натурными наблюдениями [8, 9], теоретическими исследованиями [5–7, 11], моделированием на физических моделях и рекомендуемый на данном этапе при первичной подработке в антрацитовых районах Донбасса $K_p = 3 \cdot 10^{-7} 1/\text{м}^2$, в остальных районах Восточного Донбасса $K_p = 2,5 \cdot 10^{-7} 1/\text{м}^2$ и требующий уточнения по результатам натуральных наблюдений при подработке на больших глубинах;

$S(Z)$, $S'(Z)$, $S''(Z)$ — функции типовых кривых, определяемые для Донецкого бассейна по таблицам А.4–А.6 [1]; h — мощность наносов, м; h_m — мощность горизонтально залегающих мезозойских отложений; L_1 , L_2 , L_3 — длины полумульд, определяем по граничным углам и углу максимального оседания Θ при неполной подработке или по углам полных сдвижений ψ_1 , ψ_2 , ψ_3 при полной подработке графически или аналитически, которые также считаем целесообразным корректировать при $H > 600$ м.

Функции типовых кривых $S(Z)$, $S'(Z)$, $S''(Z)$ логично принимать $Z=1$ в точке максимального оседания при неполной подработке или в начале плоского дна при полной подработке, а $Z=0$ определять по граничным углам β_0 , γ_0 , δ_0 , то есть считаем целесообразным развернуть на 180° оцифровку точек типовых кривых сдвижений и

деформаций на вертикальных разрезах в главных сечениях мульды и в таблицах.

Рекомендуемые в таблице 2 углы, вычисленные по арифметической прогрессии, косвенно учитывают прочность, слоистость толщи пород и глубину очистных работ, ограничивают прямолинейное увеличение длин полумульд на больших глубинах (табл. 3), форма зоны сдвижения очистной выработки в каменноугольных отложениях в главных сечениях мульды близка к эллипсоиду или усечённому эллипсоиду при наличии плоского дна (при $\frac{D}{H} \geq 1,2$), а определённые по приведённой методике параметры максимальных оседаний и деформаций земной поверхности в полумульде по простиранию пласта (табл. 3, рис. 2) и их зависимости от H близки к результатам натуральных наблюдений [10], не противоречат теории прочности и сдвижения горных пород.

Таблица 2

Граничные углы, углы полных сдвижений и угол максимального оседания

Марка угля	Граничные углы			Угол максимального оседания Θ
	β_0	γ_0	δ_0	
А	$75^\circ - 0,8\alpha + H_\Gamma \cdot K_Y \geq 25^\circ$	$75^\circ + 0,2\alpha + H_\Gamma \cdot K_Y$	$75^\circ + H_\Gamma \cdot K_Y$	$90^\circ - 0,8\alpha + H_\Gamma \cdot K_Y$
	$70^\circ - 0,8\alpha + H_\Gamma \cdot K'_Y \geq 25^\circ$	$70^\circ + 0,2\alpha + H_\Gamma \cdot K'_Y$	$70^\circ + H_\Gamma \cdot K'_Y$	$90^\circ - 0,8\alpha + H_\Gamma \cdot K'_Y$
остальные марки	$72^\circ - 0,8\alpha + H_\Gamma \cdot K'_Y \geq 25^\circ$	$72^\circ + H_\Gamma \cdot K'_Y$	$72^\circ + H_\Gamma \cdot K'_Y$	$90^\circ - 0,8\alpha + H_\Gamma \cdot K'_Y$
	$70^\circ - 0,8\alpha + H_\Gamma \cdot K'_Y \geq 25^\circ$	$70^\circ + H_\Gamma \cdot K'_Y$	$70^\circ + H_\Gamma \cdot K'_Y$	$90^\circ - 0,8\alpha + H_\Gamma \cdot K'_Y$
Углы полных сдвижений				
	у нижней границы ψ_1	у верхней границы ψ_2	по простиранию ψ_3	
А	$55^\circ + H_\Gamma \cdot K_Y$	$55^\circ + 0,3\alpha + H_\Gamma \cdot K_Y$	$55^\circ + H_\Gamma \cdot K_Y$	
остальные марки	$55^\circ + H_\Gamma \cdot K'_Y$	$55^\circ + 0,3\alpha + H_\Gamma \cdot K'_Y$	$55^\circ + H_\Gamma \cdot K'_Y$	

Примечания:

- 1) в числителе приведены выражения для неподработанной толщи, в знаменателе — для подработанной;
- 2) $H_\Gamma = H_{\text{ср}} - 600 \text{ м} \geq 0$;
- 3) K_Y — коэффициент увеличения улов с возрастанием глубины (при $H > 600$ м): рекомендуемый в антрацитовых районах $K_Y = 0,015$ градус/м, при разработке других марок угля и в подработанном массиве $K'_Y = 0,01$ градус/м; требует дальнейшего подтверждения по результатам натуральных наблюдений при выемке угля на глубинах более 600 м.

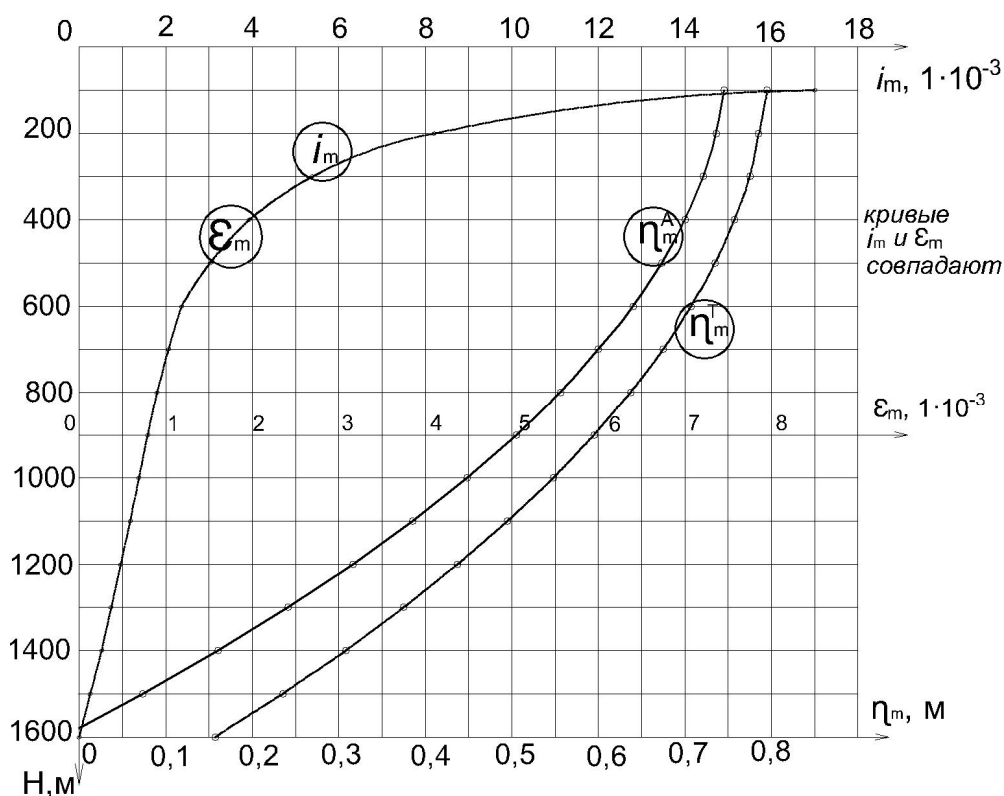


Рисунок 2 Кривые зависимостей η_m , i_m , ε_m от H при $t=1$ м, $\alpha=5^\circ$, $D_1=2000$ м, $\frac{D_2}{H}=1,2$

Таблица 3

Значения η_m , i_m , ε_m , вычисленные по формулам (2, 5, 9)

H , м	Ж-Т	Антрацит	Антрацит		
	η_m , м	η_m , м (нов.)	L_3 , м	i_m , $1 \cdot 10^{-3}$	ε_m $1 \cdot 10^{-3}$
100	0,795	0,745	96	17,1	8,5
200	0,785	0,736	195	8,29	4,1
300	0,775	0,721	293	5,41	2,69
400	0,757	0,700	390	3,95	1,96
500	0,735	0,673	488	3,03	1,51
600	0,707	0,640	590	2,36	1,18
700	0,675	0,601	640	2,06	1,03
800	0,637	0,556	675	1,80	0,90
900	0,595	0,505	700	1,59	0,79
1000	0,548	0,448	712	1,38	0,69
1100	0,495	0,385	715	1,18	0,59
1200	0,437	0,316	715	0,97	0,48
1300	0,375	0,241	703	0,75	0,37
1400	0,308	0,160	672	0,52	0,26
1500	0,235	0,073	633	0,25	0,13
1600	0,157	0	586	0	0

Условия применения приведенной методики расчёта ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности:

- отсутствие в зоне влияния тектонических нарушений;
- разрабатываемые пласты с углом падения не более 45°;
- исключение условий суммирования однозначных деформаций [8];
- отсутствие в подработанной толще крепких песчаников мощностью слоя более 25 м.

Выводы и направление дальнейших исследований:

1. Предложены скорректированная методика расчёта ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности в глав-

ных сечениях мульды сдвижения, скорректированные формулы определения граничных углов, углов полных сдвижений и максимального оседания.

2. Вычисленные по новой методике η_m , L_3 , i_m , ε_m (табл. 3, рис. 2) не противоречат основным положениям геомеханики и сдвижения подработанной толщи пород.

3. Дальнейшие исследования авторов будут направлены на уточнения коэффициентов K_P и K_U по результатам натурных наблюдений, моделирования и теоретических исследований.

Библиографический список

1. ГСТУ 101.00159226.001-2003. Правила подработки зданий и сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом [Текст]. — Введ. 2003-10-28. — Киев : УкрНИМИ НАН Украины, 2004. — 128 с.
2. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях [Текст] : ПБ 07-269-98 : утв. Госгортехнадзором РФ 06.03.1998. — Введ. 1998-10-01. — Санкт-Петербург : Межотраслевой науч. Центр ВНИМИ, 1998. — 291 с.
3. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях [Текст] : утв. М-вом угольной промышленности СССР. — М. : Недра, 1981. — 288 с.
4. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок в Донецком угольном бассейне [Текст] : утв. М-вом угольной промышленности СССР 21.02.1972. — М. : Типография ХОЗУ МУП СССР, 1972. — 133 с.
5. Ларченко, В. Г. Максимальные оседания и деформации земной поверхности при подработке на больших глубинах [Текст] / В. Г. Ларченко, Е. В. Коваленко, Ю. А. Маталкина // Сборник научных трудов ДонГТУ, 2018. — Вып. 11 (54). — С. 33–40.
6. Ларченко, В. Г. Исследование влияния глубины подработки на параметры процесса сдвижения земной поверхности [Текст] / В. Г. Ларченко, Ю. А. Маталкина // Сборник научных трудов ДонГТУ, 2017. — Вып. 7 (50). — С. 53–57.
7. Ларченко, В. Г. Влияние глубины разработки угольных пластов на окружающую среду [Текст] / В. Г. Ларченко, Е. В. Коваленко, Ю. А. Маталкина // Сборник трудов научной конференции. — Алчевск : ГОУ ВПО ЛНР «ДонГТУ», 2018. — С. 57–66.
8. Ларченко, В. Г. Практические результаты исследований деформаций земной поверхности при отработке свиты пологих угольных пластов [Текст] / В. Г. Ларченко // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2009». — Днепропетровск : НГУ, 2009. — С. 222–230.
9. Ларченко, В. Г. Процесс сдвижений и деформаций подработанного массива горных [Текст] / В. Г. Ларченко // Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях : материалы 7-го международного симпозиума. — Белгород : ВИОГЕМ, 2003. — С. 238–244.
10. Посыльный, Ю. В. Максимальные оседания земной поверхности в антрацитовых районах Донбасса [Текст] / Ю. В. Посыльный, А. А. Джулай, Е. А. Тетерин // Перспективы развития Восточного Донбасса : сб. науч. трудов ШИЮРГТУ (НПИ). — Новочеркасск : Набл, 2007. — Вып. 4.2. — С. 282–294.

11. Ларченко, В. Г. Определение зависимости параметров сдвижений и деформаций подработанной толщи горных пород от определяющих факторов методом конечных элементов [Текст] / В. Г. Ларченко, О. А. Черных // Вестник МАНЭБ. — Санкт-Петербург, 2006. — № 22. — С. 16–24.

© Ларченко В. Г.
© Коваленко Е. В.
© Маталкина Ю. А.

*Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А.,
гл. маркшейдером шахты им. XIX съезда КПСС Трезневым Д. С.*

Статья поступила в редакцию 30.09.19.

**к.т.н. Ларченко В. Г., Коваленко О. В., Маталкина Ю. А. (ДонГТУ, м. Алчевськ, ЛНР)
УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ОЧІКУВАНИХ ЗРУШЕНЬ
І ДЕФОРМАЦІЙ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ ВИДОБУТКУ ВУГІЛЛЯ**

Наведено скориговану методику розрахунку очікуваних зрушень і деформацій земної поверхні в головних перетинах мульди при видобутку вугілля підземним способом.

***Ключові слова:** розрахунок зрушень і деформацій земної поверхні, скоригована методика, підземна розробка вугільних пластів, граничні кути.*

PhD in Engineering Larchenko V. G., Kovalenko E. V., Matalkina Yu. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

IMPROVEMENT OF DESIGN PROCEDURE OF THE EXPECTED SHIFTS AND EARTH CRUST DEFORMATIONS DURING COAL MINING

The adjusted design procedure of the expected shifts and earth crust deformations during underground coal mining in the main sections of the trough is given.

***Key words:** calculation of shifts and earth crust deformations, adjusted procedure, underground coal seams mining, adjacent angles.*