

Таким образом, используя вышеизложенные основы определения перспективности шахт Украины и зная общую величину государственных дотаций, можно укрупненно определить величину государственной поддержки конкретной шахты в рассматриваемый период. Предложенный алгоритм можно использовать как в общем виде, при определении бюджетных средств, так и при анализе их постатейного использования (капитальные вложения на поддержание уровня производственной мощности, дотации на себестоимость продукции и пр.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов Б.В. Экономическая эффективность угольного производства и факторы ее повышения. - Г.: Недра, 1973. - 176 с.
2. Астахов А.С., Москвин В.Б. Повышение экономической эффективности капитальных вложений в угольную промышленность. - Г.: Недра, 1969. - 312 с.

УДК 622.831.24

В.Б. Демченко

ПАРАМЕТРЫ СДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В УГОЛЬНЫХ БАССЕЙНАХ УКРАИНЫ

Наведені результати аналізу даних маркшейдерських спостережень зсуву земної поверхні в умовах виїмки вугільних пластів шахтами Львівсько-Волинського вугільного басейну, Західного і Центрального районів Донбасу. Показано, що для опису параметрів зсуву земної поверхні у вказаних умовах доцільно використовувати інтегральну функцію Гауса та її похідні.

PARAMETERS OF DISPLACEMENT OF EARTH SURFACE IN A COAL POOLS OF UKRAINE

The results of the analysis of marksheider's supervision of displacement of a earth surface in conditions of a collection of coal layers by shafts of the Lvovsko-Volynsk pool, Western and Central areas of Donbass are given. Is shown, that for the description of parameters of displacement it is expedient of a earthl surface in the specified deposits to use integrated Gauss function and her derivative.

В настоящее время разработан ряд методов прогноза сдвижений и деформаций земной поверхности [1-6], из которых наиболее надёжными являются методы прогноза с использованием в качестве исходных данных значений граничных углов и углов полных сдвижений, определяемых по натурным наблюдениям [1]. Угловые параметры являются важнейшими характеристиками процесса сдвижения земной поверхности, от точности их определения во многом зависит правильность выбора мер охраны подрабатываемых объектов. Разработка указанных методов прогноза потребовала проведения обширных и трудоёмких наблюдений во всех бассейнах, привела к созданию методов прогноза, каждый из которых пригоден лишь для определённого бассейна.

В то же время этот подход не обеспечивает достаточной точности прогноза параметров сдвижения, т.к. величины граничных углов, определяемых по кри-

териям $\varepsilon = 0,5 \cdot 10^{-3}$ или $i = 0,5 \cdot 10^{-3}$, зависят от глубины разработки, вынимаемой мощности пласта, размеров выработанного пространства и физико-механических свойств горных пород. Значения углов, определённые по приведенным критериям, получаются различными. Таким образом, принятые в настоящее время критерии определения граничных углов недостаточно обоснованы.

Нами разработана математическая модель и методика прогноза сдвижения земной поверхности с использованием концепции единичного влияния элемента выработанного пространства [7]. Согласно модели, оседание точки горного массива или земной поверхности равно:

$$\eta = \frac{q_0 m \cdot \cos \alpha}{4} \{ \Phi[A_x(vt - d_x - x)] - \Phi[A_x(d_x - x)] \} \times \\ \times \{ \Phi[A_{y1}(D_2/2 - d_{y1} + y)] + \Phi[A_{y2}(D_2/2 - d_{y2} - y)] \},$$

где q_0 – относительная величина максимального оседания; m – мощность пласта; α – угол падения пород; Φ – интегральная функция Гаусса; A – коэффициент; d – зависание пород; L – длина полумульды сдвижения; $\beta_0, \gamma_0, \delta_0, \psi_1, \psi_2, \psi_3$ – углы сдвижений пород.

Остальные виды сдвижений и деформаций определяются первой и второй производными от функции оседания и коэффициентами пропорциональности.

Методика предусматривает использование эмпирических параметров сдвижения, что обусловило необходимость анализа результатов натурных наблюдений сдвижения земной поверхности в различных условиях выемки угольных пластов.

Для установления параметров сдвижения земной поверхности нами был выполнен анализ результатов натурных исследований сдвижения земной поверхности в условиях основных угольных бассейнов Украины – Львовско-Волынского, Западного Донбасса и Центрального района Донбасса.

Львовско-Волынский бассейн.

Для определения параметров процесса сдвижения земной поверхности использованы результаты маркшейдерских наблюдений, выполненных БСМР при решении задач охраны объектов, расположенных на подрабатываемых территориях шахт ПО "Укрзападуголь".

Условия выемки пластов под наблюдательными станциями приведены в табл. 1. Углы падения пластов составляют 0-5°.

Расположение наблюдательных станций, условия их подработки, а также недостаточные размеры выработанного пространства не позволяют определить параметры сдвижения земной поверхности обычным способом. Это вызвало необходимость разработки нами методики определения параметров сдвижения, основанной на результатах инструментальных наблюдений за сдвижением одного или ограниченного числа реперов по мере их подработки. Использование такой методики позволило установить, что кривые вертикальных сдвижений реперов в статической мульде идентичны графикам оседаний земной поверхности в динамической мульде, расположенной над движущимся забоем.

Таблица 1 – Условия выемки пластов под наблюдательными станциями на шахтах ЛВБ

Название станции	Шахта	Индекс пласта	Номер лавы	Глубина работ, м	Вынимаемая мощность пласта, м	Длина лавы, м	Скорость подвигания лавы, v , м/мес.	Кол-во реперов на станции
Водовод	№2 «Червоноградская»	n_8^B	509	500 – 535	1,20	140	55	61
Трубопроводы	№2 «Червоноградская»	n_8^B	510	510 – 530	1,03-1,15	160	50	73
Дорога	№1 «Великомостовская»	n_8^B	507, 508	400 – 425	1,10, 1,28	145, 95	50	46
Мост	№3 «Великомостовская»	n_7^H n_8^B	101, 102, 407, 408	460, 427	1,43, 1,57	210, 180	20	90
Ферма	№10 «Великомостовская»	n_8^B	532, 533, 534	490	1,20	170 – 180	42	65

Нами установлены длины динамических полумульд на наблюдательных станциях в условиях Львовско-Волынского бассейна (табл. 2), которые однозначно определяются по характеру сдвижения отдельно взятого репера по мере его подработки лавой. Очевидно также несоответствие методики, рекомендуемой [1], фактическим данным.

Обработка результатов наблюдений позволила установить величину зависания пород d основной кровли над границами очистной выработки. Над движущимся забоем лавы величина зависания пород кровли увеличивается, вследствие чего на земной поверхности смещается точка перегиба кривой оседаний в сторону выработанного пространства. Установлено, что уравнение для определения величины зависания пород основной кровли над границами очистной выработки, движущейся со скоростью v , при глубине работ H в данных условиях имеет вид:

$$d = H \cdot (0,113 + 0,00273 \cdot v).$$

Обработка результатов наблюдений за сдвижением единичного репера от влияния движущегося забоя лавы позволили определить численные значения граничных углов δ_0 и углов полных сдвижений ψ_k , приведенные в табл.2.

Оценка точности методики [1] и модели сдвижения [7] выполнена для условий трёх шахт бассейна путём сопоставления прогнозных оседаний земной поверхности с фактическими, полученными на наблюдательных станциях (см. табл.2). Установлено, что относительные ошибки прогноза максимальных оседаний по наблюдательным станциям с применением разработанной нами модели составили 9-36 %, а с применением [1] – 20-104 %. Это свидетельствует о том, что разработанная нами модель сдвижения обеспечивает более высокую точность прогноза оседания земной поверхности в условиях шахт Львовско-Волынского бассейна.

Таблица 2 – Фактические параметры процесса сдвижения подрабатываемой земной поверхности в условиях Львовско-Волынского бассейна

Наблюдательная станция	Максимальные фактические		Максимальные расчётные оседания, мм		Погрешность прогноза, %		Динамические углы, градус, минута		Зависание пород, d , м	Длина полумульды, L , м
	оседание, мм	наклон, $\times 10^{-3}$	по [1]	по [7]	по [1]	по [7]	δ_0	ψ_k		
Дорога	460	3,0	600	420	30	9	48°01'	35°32'	100	920
Водовод	255	0,3	520	162	104	36	51°55'	38°32'	120	1036
Ферма	865	2,2	1035	736	20	15	61°19'	41°57'	125	786
Мост	910	3,2	1312	820	44	10	67°37'	50°29'	95	569
Средние по станциям фактические							57°13'	41°38'		
Рекомендованные ВТУ [1]							55°	55°	0,113·Н	1,4·Н

Таким образом, на основе анализа исследований процесса сдвижения земной поверхности установлено, что длина полумульды сдвижения однозначно определяется характером оседания отдельного репера по мере его подработки лавой; величина зависания пород основной кровли над движущимся забоем лавы является функцией граничных углов и углов полных сдвижений, скорости подвигания забоя и глубины разработки а профиль динамической мульды сдвижения при полной подработке в условиях Львовско-Волынского бассейна описывается интегральной функцией Гаусса. Численные значения угловых параметров сдвижения, существенно отличающиеся от рекомендуемых [1].

Западный Донбасс.

Особую актуальность вопрос о соответствии углов, применяемых для определения границ мульд сдвижения и построения предохранительных целиков, фактическим значениям граничных углов и углов сдвижения имеет в условиях Западного Донбасса, где горные работы ведутся при большой мощности наносов.

Анализ результатов натуральных наблюдений, выполненных кафедрой маркшейдерского дела ДГИ (ныне НГАУ), позволил установить угловые параметры процесса сдвижения, характер распределения сдвижений и деформаций в мульде. С этой целью нами проанализированы результаты натуральных наблюдений на реперных наблюдательных станциях, заложенных на поверхности шахт Западного Донбасса и подработанных в период с 1965 по 1983 год.(табл.3).

По натурным наблюдениям процесса сдвижения определяли фактические значения общих граничных углов и углов полных сдвижений [8] в соответствии с [1]. Значения фактических и расчётных по [1] граничных углов и углов сдвижения приведены в табл.4.

Анализ полученных результатов исследований процесса сдвижения земной поверхности в условиях Западного Донбасса позволяет сделать следующие выводы: расхождения значений общих граничных углов, полученных из натуральных наблюдений, и значений граничных углов, вычисленных по [1], достигают 6°;

значения фактических углов сдвижения на 6-17° больше вычисленных; применяющиеся в настоящее время угловые параметры сдвижения в Западном Донбассе недостаточно точны, что обуславливает необходимость их уточнения.

Таблица 3 – Горно-геологические условия отработки угольных пластов Западного Донбасса в районах наблюдательных станций

№№ станций	Шахта	Индекс-пласта	Мощность пласта m , м	Глубина наработки H , м	Мощность наносов, h , м	Угол падения пласта, α , градус	Отношение h/H
5	«Першотравнева»	C_1	0,80	160	100	0	0,63
5	«Першотравнева»	C_1	0,80	177	100	3	0,56
2	«Терновская»	C_6^H	0,90	147	77	3	0,52
7	им.26 съезда КПСС	C_6^B	0,71	196	84	0	0,43
8	им.26 съезда КПСС	C_6^B	0,80	187	70	3	0,36
10	«Юбилейная»	C_6^H	1,07	158	54	3	0,34
9	«Юбилейная»	C_6	0,81	225	63	0	0,28
9	«Юбилейная»	C_6	0,81	250	63	4	0,25
23	им.26 съезда КПСС	C_{10}	1,02	543	133	3	0,24
23	им.26 съезда КПСС	C_{10}	1,08	540	130	3	0,24

Физико-механические свойства горных пород в Центральном и Западном Донбассе различны, что позволяет сделать предположение о различном характере влияния горных разработок на земную поверхность в этих условиях и различие типовых кривых, описывающих распределение сдвижений и деформаций в мульдах.

Таблица 4 – Значения граничных углов и углов сдвижения в Западном Донбассе

№№ станций	Граничные углы, градус			Углы сдвижения, градус			Горизонтальные расстояния между границами выработки и зоны опасных деформаций, м		
	Фактические	Вычисл. по [1]	Разность	Фактические	Вычисл. по [1]	Разность	Фактические	Вычисл. по [1]	Разность
5	54	51	+3	68	57	+11	64	106	-42
5	52	52	0	72	58	+14	56	112	-56
2	54	53	+1	68	58	+10	60	90	-30
7	61	55	+6	76	60	+16	50	111	-61
8	58	57	+1	72	62	+10	65	105	-40
10	53	57	-4	68	62	+6	66	83	-17
9	61	58	+3	76	64	+12	57	112	-55
9	57	59	-2	72	64	+8	80	121	-41
23	62	59	+3	81	64	+17	90	261	-171
23	61	59	+2	79	64	+15	100	258	-158

Для исследования этого вопроса были проанализированы результаты наблюдений за сдвижением земной поверхности на станциях, заложенных в главных сечениях мульд сдвижения по направлениям полной подработки (см. табл.3).

Известно, что деформации и горизонтальные сдвиги земной поверхности зависят от распределения оседаний в мульде. Следовательно, для ответа на вопрос об адекватности типовых кривых в Центральном и Западном Донбассе достаточно рассмотреть распределение оседаний в мульде сдвига.

Из анализа параметров сдвига следует, что отклонения осреднённых коэффициентов единичных кривых от коэффициентов единичных кривых по отдельным линиям более чем в два раза меньше, чем отклонения коэффициентов типовой кривой из [1], поэтому они описывают распределение оседаний более адекватно и могут быть приняты для прогноза параметров сдвига в мульде при отработке угольных пластов шахтами Западного Донбасса.

По данным, при веденным в табл.2, представив толщу двухслойной, определены следующие фактические значения угловых параметров сдвига пород наносов и карбона в условиях Западного Донбасса: $\delta_0 = 69,7^\circ$; $\varphi_0 = 57,4^\circ$; $\psi_H = 44,0^\circ$, $\psi_K = 69,5^\circ$ с коэффициентами корреляции 0,92-0,94.

Для оценки надёжности разработанной модели процесса сдвига приняты результаты наблюдений за сдвигом земной поверхности, выполненные на шахте им. Ленинского комсомола Украины (ныне «Западно-Донбасская») ПО «Павлоградуголь» в зоне влияния 935 и 933 лав пласта C_8^B . Лавами подрабатывались здание АБК, коллектор для отвода сточных вод и группа зданий СПТУ 41 г. Терновки.

Перед началом подработки в перечисленных сооружениях были заложены реперные наблюдательные станции. Маркшейдерской службой шахты и институтом «Донгражданпроект» был выполнен прогноз ожидаемых сдвигов и деформаций земной поверхности в районах расположения сооружений по методике [9], разработаны и осуществлены меры их охраны.

В соответствии с разработанной нами методикой также был выполнен прогноз ожидаемых параметров сдвига земной поверхности.

Сопоставление результатов расчётов показало следующее. Прогнозируемые нами величины оседаний земной поверхности в 1,5 раза превысили рассчитанные по [9]. Соответственно отличались и величины деформаций. На основании этого в меры охраны подрабатываемых объектов были внесены соответствующие изменения.

Измерения, выполненные на наблюдательной станции после подработки сооружений, подтвердили высокую сходимость фактических величин сдвигов и деформаций с прогнозными по нашей методике.

Согласно [9], максимальное оседание земной поверхности η_m в данных условиях составило бы 580 мм, согласно нашим расчётам, $\eta_m = 848$ мм при фактическом оседании, равном 883 мм. Максимальные ожидаемые наклоны земной поверхности в мульде сдвига по трассе коллектора составили: по [9] - $2,5 \cdot 10^{-3}$; по нашей методике $-4 \cdot 10^{-3}$, фактические наклоны равны $-5 \cdot 10^{-3}$. Максимальные величины кривизны составили соответственно $0,013 \cdot 10^{-3}$, $0,027 \cdot 10^{-3}$ и $0,033 \cdot 10^{-3}$ 1/м.

Приведенные результаты подтверждают целесообразность применения интегральной функции Гаусса и её производных для описания параметров про-

цесса сдвижения, высокую надёжность разработанного нами метода прогноза сдвижений и деформаций земной поверхности в условиях Западного Донбасса.

Центральный район Донбасса.

Для оценки параметров сдвижения пород в условиях выемки угля шахтами ЦРД, был выполнен анализ натуральных наблюдений на реперных наблюдательных станциях, заложенных на земной поверхности на полях четырёх шахт ПО «Орджоникидзеуголь».

Шахтой им. Карла Маркса отрабатываются угольные пласты с углом падения пластов 58-66°, способ управления кровлей – полное обрушение и удержание на кострах.

Для наблюдения за процессом сдвижения была заложена реперная станция, состоящая из 133 грунтовых реперов. За период наблюдений максимальное оседание составило 253 мм. Максимальные суммарные наклоны земной поверхности составили 10,4 мм/м, горизонтальные деформации - $\pm 5,2$ мм/м.

Шахта "Красный Профинтерн" отрабатывала пласты на гор.975 м. Угол их падения 58-68°. Выемка угля выполнялась с полным обрушением кровли или с удержанием её на кострах.

Для оценки параметров сдвижения земной поверхности на поле шахты были заложены три наблюдательные станции. Подработка земной поверхности тремя пластами на восточном крыле шахты вызвала оседания реперов в среднем на 10 мм. На западном крыле шахтного поля горные работы по семи пластам оказывали влияние на территорию, на которой заложены наблюдательные станции № 205 и № 211. На наблюдательной станции № 205 горизонтальные деформации земной поверхности составили в сумме 8-10 мм/м. Инструментальные наблюдения на станции № 211 показали, что оседание в центральной части мульды в течение года достигли 20-40 мм при средней скорости оседания 20 мм в год. Наклоны земной поверхности составили -3,4 и 4,7 мм/м.

Шахта "Енакиевская" отрабатывала 6 угольных пластов мощностью от 0,78 до 1,65 м на глубине 550 м. Угол падения пластов 42-47°, способ управления кровлей – удержание на кострах.

Для оценки параметров процесса сдвижения, была заложена площадная реперная наблюдательная станция, состоящая из 112 грунтовых реперов. Наблюдениями установлено, что максимальное оседание составило 91 мм.

Для наблюдений за сдвижением земной поверхности при отработке трёх пластов на восточном крыле шахтного поля, была заложена наблюдательная станция, состоящая из 30 грунтовых реперов. Наблюдениями установлено, что оседания земной поверхности составили 282 мм, а скорость оседаний – до 67 мм/квартал. Средние по станциям значения параметров сдвижения составили: $\beta_0 = 43^\circ$, $\delta_0 = 66^\circ$ при прогнозных, согласно [1], $\beta_0 = 34^\circ$, $\delta_0 = 70^\circ$.

Шахта "Углегорская" отрабатывала 7 угольных пластов мощностью 0,50-1,50 м, залегающих под углом 61°. Способ управления кровлей – удержание на кострах. Для наблюдения на сдвижением земной поверхности, на поле шахты была заложена станция, состоящая из 317 грунтовых реперов. Максимальное

оседание реперов – 145 мм. Фактическая величина β_0 составила 16° , что существенно отличается от $\beta_0 = 21,2^\circ$, рекомендуемого [1].

Согласно приведенным выше результатам натуральных наблюдений, фактические величины угловых параметров сдвижения в условиях шахт ЦРД существенно отличны от нормативных (табл.5). Натурными наблюдениями в ЦРД установлено, что при выемке пластов с углом падения до 70° граничный угол сдвижения пород со стороны падения пластов $\beta_0 = 105^\circ - 1,42 \cdot \alpha$, но не менее 16° ; граничный угол сдвижения со стороны простирания и обратной простиранию пластов $\delta_0 = 56^\circ$; угол полных сдвижений со стороны простирания и обратной простиранию пластов $\psi_3 = 50^\circ$.

Таблица 5 – Фактические параметры сдвижения земной поверхности в условиях шахт ЦРД

Название шахты	H_{CP} м	α , гра- дус	β_0 , градус	δ_0 , гра- дус	β_{01} , гра- дус	ψ_3 , градус
«Красный Профинтерн»	915	-	-	-	-	-
Им.К.Маркса	812	62	-	-	42/нет	-
«Углегорская»	400	61	16/21	-	-	-
«Енакиевская»	490	45	43/34	56/70	-	51/55
№10 ПО«Луганскуголь»	80	60	18;21;24/22	-	27;31;39	-

Примечание: В знаменателе приведены значения параметров, рекомендуемые [1].

Для проверки адекватности разработанной модели сдвижения условиям выемки крутых пластов, были выполнены натурные инструментальные наблюдения сдвижений земной поверхности на поле шахты "Енакиевская" при выемке двух пластов с углом падения $42-47^\circ$.

Наблюдательная станция состояла из 57 грунтовых реперов. Наблюдениями установлено, что максимальные оседания земной поверхности составили 387 мм.

Нами были выполнены расчеты параметров сдвижения по действующим [1] и по методике [7]. Сопоставление результатов расчетов показало (табл. 6), что применение разработанной методики прогноза, по сравнению с ВТУ, обеспечивает в данных условиях более точное прогнозирование параметров сдвижения, в частности: оседания – в 2,7-8 раз, длины полумульды – в 2,3-2,7 раза.

Таким образом, анализом результатов инструментальных наблюдений за сдвижением подрабатываемой земной поверхности установлено: в угольных бассейнах Украины сдвижения и деформации в мульде сдвижения на земной поверхности описываются интегральной функцией Гаусса и её производными, а применение методики прогноза сдвижений, основанной на концепции единичного влияния элемента выработанного пространства позволяет прогнозировать последствия подработки и планировать меры охраны подрабатываемых объектов и территорий.

Таблица 6 – Сопоставление результатов апробации методики прогноза параметров сдвижения

Параметр сдвижения	Фактическое значение параметра	Прогноз по ВТУ [1]		Прогноз по методике [4]	
		значение параметра	отклонение от фактического	значение параметра	Отклонение от фактического
Сумма оседаний реперов, м	4,887	4,359	10,8	5,077	3,9
Среднее оседание по станции, м	0,129	0,115	10,8	0,134	3,9
Длина полумульды сдвижения, м:					
- по падению	365	541	48,2	300	17,8
- по восстанию	450	567	26,0	400	11,1
Максимальное оседание, мм	387	290	25,1	375	3,1
Смещение экстремума оседания, м	-	180	44,2	15	3,7

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. КД12.00159226.013-95. Временные технические условия по охране сооружений и природных объектов от влияния подземных горных разработок - Донецк: Минуглепром Украины, УкрНИМИ, 1995.- 237 с.
2. Авершин С.Г. Некоторые свойства процесса сдвижения горных пород и вопросы расчёта сдвижений // Сб.трудов по вопросам исслед. горн. давления и сдвижения горн. пород.- ВНИМИ.- 1961.-Сб.43.-С.3-8.
3. Колбенков С.П., Павлов А.Н. К вопросу расчётов деформаций земной поверхности//Труды ВНИМИ.- 1963.-Сб.50.-С.114-130.
4. Черняев В.И. Аналитический способ определения исходных параметров процесса сдвижения и деформаций толщи горных пород и земной поверхности / Разработка месторождений полезных ископаемых.-Киев: Техніка, 1975.-Вып.40.-С.51-57.
5. Ершов Н.М. Аналитические исследования поверхности мульды сдвижения // Труды ВНИМИ.-1958.-Сб.32.-С.18-31.
6. Морин С.В. Распределение вертикальных сдвижений и деформаций в мульде // Изв. вузов. Горный журнал.-1986.-№ 7.-С.52-54.
7. Подорванов А.А., Демченко В.Б., Колесников В.Г. Модель сдвижения горного массива с учётом скатывания пород / Геотехн. механика: Межвед. сб. научн. трудов / Ин-т геотехн.механики НАН Украины.- Днепропетровск, 2001.- Вып.26.- С.108-112.
8. Мякенький В.И., Назаренко В.А., Головчанский И.Е. Результаты изучения процесса сдвижения горных пород в Западном Донбассе.-Днепропетровск, ИГТМ АН УССР.-!988.-9 с.-Деп. в ВИНТИ 25.12.87, № 1044-В88.
9. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях / Министерство угольной промышленности СССР.- М., Недра, 1981.- 288 с.