

УДК 502.6(02)

О.А. ВОВК (д-р техн. наук, проф.)**В.В. ВАПНИЧНАЯ** (канд. техн. наук, доц.)**Н.А. ШЕВЧУК** (канд. техн. наук, доц.)

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев, Украина

В.А. ГЛАДИШЕВА (аспирант)

Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ НАД ПОДЗЕМНЫМИ ГОРНЫМИ РАБОТАМИ

В статье рассмотрены методы прогнозирования деформации поверхности при ведении горных работ подземным способом и предложена классификация, учитывающая критерии, позволяющие систематизировать взаимосвязи литологических, технологических и геомеханических факторов с их проявлением на дневной поверхности. Отдельной задачей являлась оценка вероятностных критериев мутьдообразования на основе моделирования процесса деформации подрабатываемого массива. На основе обобщений имеющихся данных анализа процесса сдвижения подработанного массива и деформации поверхности, степени вероятности возникновения процесса с разделением на категории и группы на основе различных критериев была построена комплексная номограмма, сочетающая геометрический и деформационный критерии. Анализ рассмотренных методик прогнозирования развития деформационных процессов указывает на ряд существенных недостатков, ограничивающих область их применения. К их числу следует отнести отсутствие взаимосвязи деформационных параметров с глубиной, а также ограничение диапазона исследуемой области небольшими глубинами, не превышающими 150 м. Не отражена надлежащим образом и динамика процессов деформации во времени, а также влияние вторичных факторов (дегазация, обезвоживание, повторная подработка). Для уточнения прогнозных оценок в дополнении к шкале классификации предложено производить оценку степени опасности по дополнительному показателю K_0 , названному коэффициентом опасности. Он представляет собой соотношение фактических величин горизонтальных деформаций к допустимым показателям для соответствующих категорий зданий.

Ключевые слова: деформация поверхности, дневная поверхность, подрабатываемый массив.

Деформации поверхности в зависимости от глубины разработки, мощности наносов, свойств скальных пород над выработанным пространством и некоторых других факторов носят различный характер и проявляются в виде провалов, оседаний, образования щелей, уступов. Это затрудняет выработку универсальной классификации явлений хотя бы по некоторым наиболее характерным критериям, позволяющим систематизировать взаимосвязи литологических, технологических и геомеханических факторов с их проявлением на дневной поверхности. Таким образом, прогнозирование указанных явлений ограничивается установлением корреляционных связей между параметрами деформации поверхности, как много факторными функциями, и степенью опасности для находящихся в пределах контура мульды оседания объектов с учётом их конструктивных особенностей и физического состояния. Отдельной задачей является оценка вероятностных критериев мутьдообразования на основе моделирования процесса деформации подрабатываемого массива. Принимая ряд допущений (однородность свойств среды над выработанным пространством без учёта горного давления) в работе [1] предложен критерий оценки вероятности (P) образования мульды и её параметров как функции показателя (Z), равного [2]:

$$Z = \frac{H - h_H}{m} \quad (1.1)$$

где h_H - мощность наносов; m – мощность пласта; H – глубина залегания разрабатываемого пласта.

В зависимости от величины этого показателя поверхность Земли по фактору вероятности её формирования разделяют на 4 категории:

A – при $Z = 0 - 10$ – зона обрушения достигает поверхности;

В – при $Z = 10 - 30$ – зона деформации охватывает всю толщу скальных пород границы наносов;

V_1 – при $Z = 10 - 20$ - вероятность провалов высокая;

V_2 - при $Z = 20 - 30$ - вероятность провалов средняя;

С – при $Z = 30 - 50$ – зона деформации не всегда достигает границы наносов, вероятность образования воронок невелика;

C_1 – при $Z = 30 - 42$ - опускания возможны;

C_2 – при $Z = 42 - 50$ – деформация поверхности маловероятна;

D – при $z > 50$ - вершина зоны деформации скальных пород не доходит до нижней границы наносов, образование воронок исключено, опускание её может быть лишь слабо выражено за счёт возможного прогиба неразрушенной верхней части скального массива под наносом.

Вторым показателем, дополняющим оценку вероятности нарушения дневной поверхности, предлагается использовать условный коэффициент уплотнённости деформированных пород массива W_n . Физический смысл этого коэффициента выражает величину изменения удельной плотности на единицу площади подработанной поверхности. Его значение для категории А принимается максимальным (> 15) и для категории D $W_n = 0$. Для категории В коэффициент относительной уплотнённости изменяется в пределах $5 \leq W_n \leq 15$ и для категории С он меньше 5.

Функция вероятности деформации поверхности $P_1 = f(\varepsilon)$, выраженная через параметр Z имеет вид [2]:

$$P_1 = 1,34 - 0,036Z + 0,00019Z^2 \quad (1.2)$$

Построение номограммы классификации дневной поверхности от различных факторов при горизонтальном залегании пластов

Моделирование влияния подземных выработок при мощности горизонтального пласта (m) и изменяющейся ширине (L) производим, исходя из допущения об эллиптической форме обрушаемой породы над выработкой и параболической зоны деформации. При этом площадь эллипса зоны разрушения F_Z имеет высоту над выработкой W_Z , равную:

$$W_Z = m \frac{4(R+1) - \Pi(K-1)}{2\Pi(K-1)} \quad (1.3)$$

Параболическая зона деформации высотой h_2 имеет площадь F_S . На рис. 1 показана схема моделирования процесса деформации подработанного массива и вероятности мульды оседания.

Параметры деформации массива получаем исходя из геометрических соотношений. Площадь зоны обрушения включая площадь выработанного пространства $m \times L$ и F_Z (рис. 2) с учётом коэффициента разрыхления K равна:

$$F_Z = \frac{m \cdot L}{K-1} \quad (1.4)$$

Функция вероятности существования условной деформации массива (f) может быть записана в следующей форме:

$$P(h_3) = \frac{F_S - f(h_3)}{F_S} \quad (1.5)$$

Функция может принимать граничные значения $0 < f(h_3) < F_S$ при $h_3 = 0$ $f(h_3) = 0$ $P_0 = 1$; $h_3 = h_2$, $f = F_S$.

Поверхность $F_S - f$ представляет собой распространение зоны деформации до поверхности и одновременно мерой вероятности.

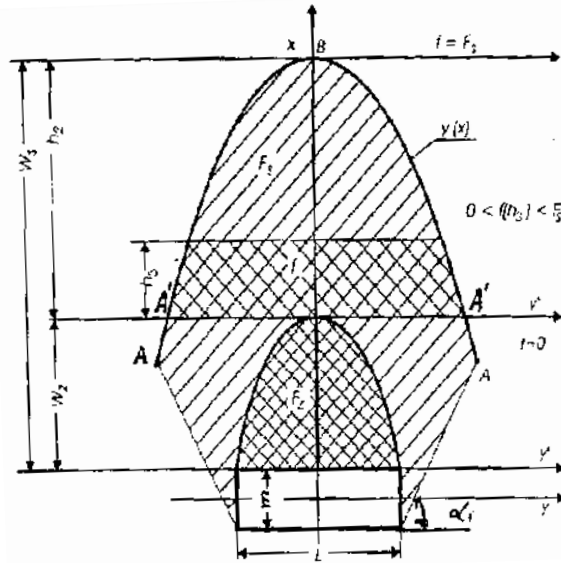


Рис. 1. Схема развития процесса деформации подработанного массива.

W_S - высота зоны деформации; W_Z - высота зоны обрушения; h_2 - высота зоны деформации параболической конфигурации; h_3 - высота условной площади f над параболической зоной обрушения A^1A^1 , ограниченной кривой $y(x)$; F_s - площадь зоны деформации параболической конфигурации $A^1B^1A^1$ включая условную площадь f ; m - мощность пласта; α_1 - угол сдвига $\alpha_1 = 90 - \frac{\varphi}{2}$; L - ширина выработки, возникновения мульды оседания.

Деформация поверхности зависит от величины h_3 , т.е. $f(h_3)$. На рис. 2. показаны элементы структуры деформации в сочетании с функцией вероятности $p(\xi)$, выраженной через параметр h_3 .

Вероятностная функция $p(h_3)$ согласно рисунку может быть записана в виде интегралов:

$$p(h_3) = \frac{\int_0^{h_2} y(x) dx - \int_0^{h_3} y(x) dx}{\int_0^{h_2} y(x) dx} \quad (1.6)$$

Для предварительной оценки в расчётах принимается максимальное значение $W_{S \max}$ (рис. 2.) равным 50м при $W_{Z \max} = 10м$, что способствует функции вероятности $P_1 = f(\xi) = f(Z)$, приведенной в (1.6), и в этом случае практически исключается нарушение поверхности Земли. Графически в координатах $m \approx H$ категоричность по показателю вероятности деформации поверхности выглядит следующим образом (рис. 3).

Приведём два примера оценки вероятности деформации поверхности при разработке пластов мощностью 3,5 и 1,5 м глубиной залегания соответственно 80 и 70 м и мощностью наносов 20 и 10 м. Показатель Z в первом случае будет равным 17,2 и точка Т на рисунке приходится на область категории В с вероятностью деформации, равной 0,78. Во втором случае показатель Z равен 40, точка T_1 приходится на область категории C_1 с вероятностью опускания поверхности не более 0,2.

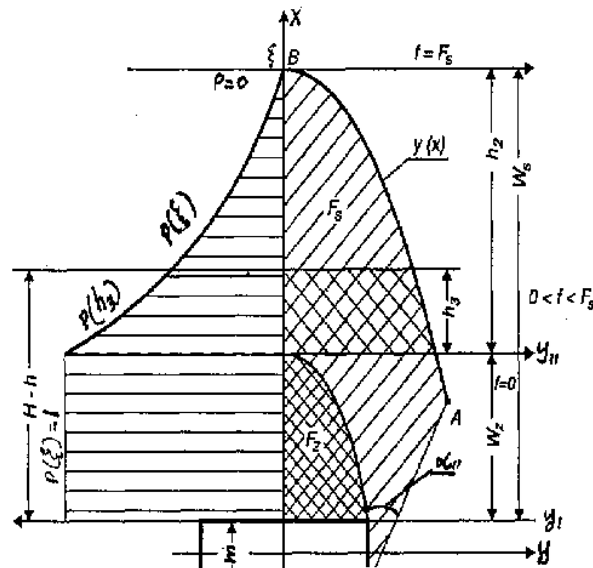


Рис. 2. Расчётная схема для определения элементов структуры деформации в толще подрабатываемого массива $\alpha_{II} = 45 - \frac{\varphi}{2}$.

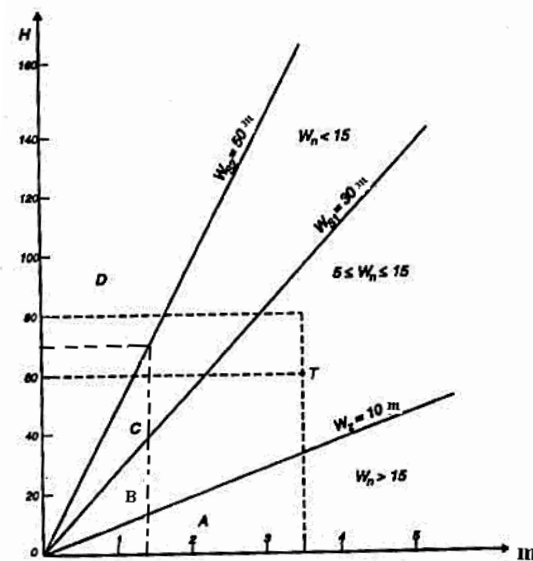


Рис. 3. Степень опасности деформации поверхности в зависимости от величины показателя Z: А, В, С, D зоны вероятности образования над выработанным пространством воронок и опускание поверхности

Не менее важной является оценка степени опасности для поверхностных сооружений по критерию видимых (необратимых) деформаций поверхности. Одна из известных классификаций такого рода в зависимости от величины зоны деформации (диаметра провальной воронки или ширины мульды опускания), ширины щели S и высоты порога h_n предусматривает подразделение на 4 группы признаков опасности (N_m - малые, N_s - средние, N_d - сильные и $N_{e,d}$ - очень сильные): от группы I ($N_m - d \leq 3m, S = 0,05m$ и $h_n \leq 0,05$) – опасность лишь

для линейных сооружений до группы 4 ($N_{e,d} \cdot d > 18\text{м}$; $S > 0,25\text{м}$ и $h_n \leq 0,25$) – опасность для любых объектов.

Более полной и информативной можно считать обобщенную нами классификацию по трём параметрам деформации и соответствующими критическими значениями одного из этих параметров для различных категорий зданий и сооружений (табл. 1).

На основе обобщений имеющихся данных анализа моделирования процесса сдвижения подработанного массива и деформации поверхности подразделения степени вероятности возникновения процесса с разбивкой на категории и группы на основе различных критериев построена комплексная номограмма (рис. 4), сочетающая геометрический и деформационный критерии. Первый из них исходит из аналитических и полуэмпирических соотношений, описывающих связь между параметрами мульды оседания и усредненными свойствами пород подрабатываемого массива, второй – из анализа и обработки данных геодезического мониторинга динамики развития мульды. Для лучшего понимания методики прогнозирования с помощью этой номограммы на ней нанесена точка Т согласно рис. 3. Приведем также пример пользования номограммой по комплексу показателей. Если поверхность, обозначена символом III 2А, он расшифровывается следующим образом: III – величина горизонтальных деформаций, соответствующая III категория, т.е. $\varepsilon_2 \leq 6 \frac{\text{мм}}{\text{м}}$ или третьей группе по степени опасности для поверхностных объектов (из той же классификации); 2 – это максимальная величина горизонтальных деформаций по группе N_s (средние) при диаметре (ширине корытообразной впадины) в пределах 3 – 9 м; при конической форме зоны деформаций этот параметр находим из выражения [2].

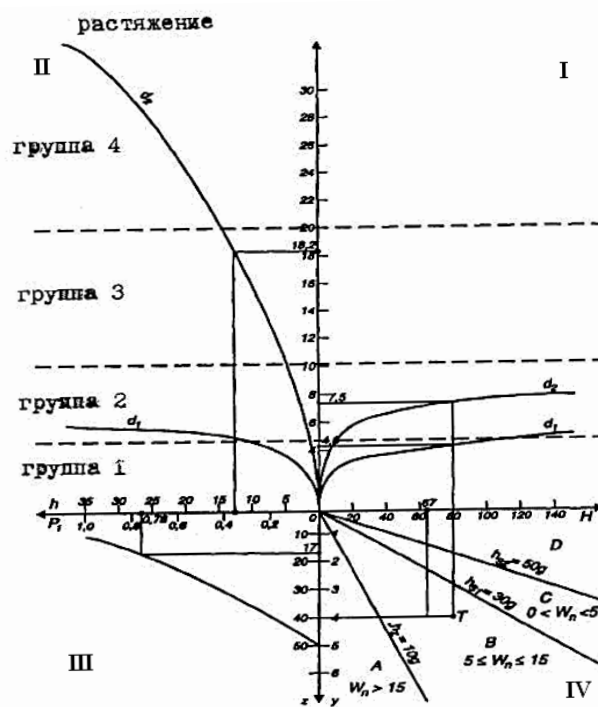


Рис. 4. Комплексная номограмма для определения категории поверхности по степени влияния подземных работ: d_1, d_2 – диаметры как функции H, h_H и m соответственно.

Точка Т соответствует рис. 3. I – IV – группа по степени опасности для зданий и сооружений согласно табл. 1. $d_2 = d_{\max} = 2h_H \cdot ctg\varphi + 2r$ (φ – угол внутреннего трения, $2r$ – диаметр (ширина впадины) по одну мульды) $d_2 \leq 10\text{м}$ – уровень деформации опасной для всех видов зданий при отсутствии

Таблица 1.. Классификация поверхности по параметрам деформации (ε , T , R) и степени опасности для поверхностных зданий и сооружений.

Категория по параметрам деформации	Горизонтальные перемещения, ε_r , мм / м	Уклон линии (контура) мульд опускания, T , $\frac{мм}{м}$	Радиус кривизны R , км	Группа по степени опасности для зданий по показателю горизонтальных смещений	Допускаемые значения ε_r , мм / м	Виды поверхностных объектов и их характеристика
Ia	$0 < \varepsilon_r \leq 0,6$	$0 < T \leq 1,2$	$R > 40$	I	$0 < \varepsilon_r \leq 1,5$	Старинные здания, магистральные газопроводы, водоёмы, промышленные сооружения особой важности
	$0,6 < \varepsilon_r \leq 1,5$	$1,2 < T \leq 3$	$40 \geq R > 20$			
II	$1,5 < \varepsilon_r \leq 3,0$	$3 < T \leq 6,0$	$20 \geq R > 10$	II	$1,5 \leq \varepsilon_r \leq 3,0$	Важнейшие промышленные объекты (доменные и мартеновские печи, коксовые батареи, шахтные стволы и машинные здания, промышленные железобетонные и монолитные строения, госпитали, театры), водосборники, главные дороги и станции, мосты и тоннели, водотраспортные магистрали, жилые дома длиной более 20 м в пласе
III	$3 < \varepsilon_r \leq 6,0$	$6 < T \leq 12$	$10 \geq R > 5$	III	$3 \leq \varepsilon_r \leq 6$	Главные дорожные магистрали и малые мосты, более устойчивые промышленные здания из камня, армированные железом, высокие печные трубы, водонапорные башни, храмы с деревянными сводами, жилые здания длиной в плане 10 – 20 м., дома длиной более 20 м с <u>противосейсмическими</u> элементами, канализационные магистрали и главные коллекторы, трубопроводы для транспортировки газа малого давления.
IV	$6 < \varepsilon_r \leq 9$	$12 < T \leq 20$	$5 \geq R > 3$	IV	$6 \leq \varepsilon_r \leq 9$	Большие спортивные стадионы, жилые дома длиной до 10 м в плане, помещения 10 – 20 м длиной, с <u>противосейсмическими</u> элементами, другие <u>подобные</u> объекты
V	$9 < \varepsilon_r$	$20 < T$	$3 \geq R$	V		Опасно для любых объектов кроме временных и соответственно защищенных зданий и при интенсивности опускания $V_{\#}$ не более 16 мм/сутки.

специальных мер по защите. А – область категории А при $Z = 0 - 10$ и максимальном коэффициенте уплотненности $W_{II} > 15$. Анализ рассмотренных методик прогнозирования развития деформационных процессов, представленных в виде табл. 1 и номограммы (рис. 4) указывает на ряд существенных недостатков, ограничивающих область применения. К числу их следует отнести отсутствие взаимосвязи деформационных параметров с глубиной (табл.1), а также ограничение диапазона исследуемой области небольшими глубинами H , не превышающими 150 м, не отражена надлежащим образом динамика процессов деформации во времени, а также влияние вторичных факторов (дегазация, обезвоживание, повторная подработка).

В табл. 2. приводятся обобщенные данные инструментальных замеров, оседания и горизонтальных деформаций в условиях разработки пластов на различных глубинах (от 50 до 900 м) и при разных уровнях метаморфизма, условно подразделяемого на три категории по прочности ($f = 2 - 18$) и пористости от 12 – 18 % до 1 – 3 % .

Из табл. 2 следует, что при разработке пластов разной степени метаморфизма на одинаковой глубине максимальное оседание поверхности уменьшается на 30 – 70 %, деформации растяжения на 30 – 55 %, отношение оседания к мощности пласта на 22 – 29 %.

С изменением глубины залегания пласта эти показатели уменьшаются в таких пределах: оседание на 45 – 75 %, деформации до 60 – 80 %, практически при $H \geq 600$ м и мощности пласта не более 1,2 м деформация поверхности незначительна. Используя данные табл. 2 и принимая допустимые горизонтальные деформации растяжения для I – III категорий зданий соответственно 2 мм/м, 3 мм/м и 6 мм/м в дополнении к шкале классификации согласно табл. 1 произведём оценку степени опасности по дополнительному показателю K_0 , названному нами коэффициентом опасности. Он представляет собой соотношение фактических величин горизонтальных деформаций ε_r^ϕ согласно табл. 1 и 2 к допустимым показателям для соответствующих категорий зданий ε_r^{don} , т.е. $K_0 = \varepsilon_r^\phi / \varepsilon_r^{don}$. Критерием безопасности в этом случае служит отношение $K_0 \leq 1$.

В табл. 3 дано дополнение к классификации по указанному параметру.

Таблица 2. Обобщенные данные инструментальных замеров

Показатели	Средняя глубина залегания пласта, м	Степень метаморфизма					
		слабая		средняя $f=5-10$		сильная $f=10-15$	
		Отношение		отношение к слабой		отношение к слабой	
Оседание поверхности W , мм: $\frac{\text{среднее}}{\text{максимальное}}$	75	800 850	-	675 800	0,84 0,94	475 600	0,59 0,71
	125	675 800	-	625 750	0,93 0,94	225 300	0,33 0,375
	275	470	-	450 300	0,96	125 150	0,27 0,32
	600	-	-	120	-	-	-
	900	-	-	220	-	-	-
Коэффициент влияния глубины $\frac{W_{75}}{W_{75}}$	-	0,55	-	0,33	-	0,25	-
Отношение оседания к мощности пласта $\rho = \frac{w}{t}$ $\frac{\text{среднее}}{\text{максимальное}}$	75	0,75 0,9	-	0,7 0,8	0,93 0,89	0,55 0,7	0,73 0,78
	125	0,775 0,85	-	0,65 0,7	0,84 0,03	0,4 0,6	0,52 0,71
	275	0,65 0,7	-	0,5 0,6	0,77 0,86	0,45 0,5	0,69 0,71
	600	0,4 0,5	-	0,35 0,4	0,88 0,8	-	-
	900	-	-	0,2	-	-	-
Коэффициент влияния глубины ρ_{75} / ρ_{75}	-	0,53 0,56	-	0,29	-	0,82 0,71	-
Деформация растяжения $\varepsilon_r \cdot 10^{-3}$, $\frac{\text{среднее}}{\text{максимальное}}$	75	8,75 9,5	-	6,5 7,0	0,74 0,74	-	-
	125	6,25 7,5	-	3 3,5	0,48 0,47	2,5 3	0,4 0,4
	275	2,0	-	1,45 1,8	0,73 0,9	0,95 1,3	0,48 0,65
	600	-	-	1,1 2,0	-	-	-
	900	-	-	0,5	-	-	-
Коэффициент влияния глубины $\varepsilon^7 / \varepsilon_r^{75}$	-	0,23 0,21	-	0,08 0,07	-	0,38 0,43	-

Таблица 3. Оценка степени опасности для зданий категории I – III по показателю K_0 .

Средняя глубина, м	Максимальные значения деформации при степени метаморфизма (таблица 2.6). $\varepsilon_{\Gamma}^{\phi}$			Категория зданий	Коэффициент K_0 для категорий зданий и степени метаморфизма			Примечание
	слабая	средняя	сильная		слабая	средняя	сильная	
75	9,5	7	-	I II III	4,75 3,17 1,58	3,5 2,33 1,17	- - -	Деформации опасны для всех категорий
125	7,5	3,5	3	I II III	3,75 2,5 1,25	1,75 1,17 0,58	1,5 1,0 0,5	Опасно для всех категорий при слабой степени метаморфизма
275	2,0	1,8	1,3	I II III	1 0,67 0,33	0,9 0,6 0,3	0,65 0,43 0,22	Практически безопасны для зданий
600	0	2	-	I II III	- - -	1 0,67 0,33	- - -	Деформации безопасны для всех категорий

Данные этой таблицы позволяют прогнозировать условия, обеспечивающие безопасность поверхностных зданий различных категорий по основному параметру – деформациям растяжения при любой глубине залегания пластов, в отличие от существующих методик, разработанных для малых глубин и в условиях Донбасса применяемых лишь в ограниченных масштабах.

Относительно оценки степени опасности для зданий IV-V категорий согласно табл. 1, то при величине критических деформаций 6 -9 мм/м и более эти здания будут подвержены таким деформациям оснований лишь при разработке пластов на глубине 75 – 100 м со слабой степенью метаморфизма и в отдельных случаях следует учитывать, что в толще четвертичных отложений в процессе деформирования до значений $\varepsilon_{\Gamma} \leq 12 \text{ мм/м}$ разрывы могут не образоваться, и воды водоносных горизонтов (а также осадки) интенсивно заполняют мульду оседания, подтапливая основания фундаментов зданий, если они находятся в пределах деформированных участков шахтного поля.

Следует указать, что как в существующих, так в предлагаемых классификациях не нашли отражения такие факторы, влияющие на деформационные процессы поверхности, как динамические воздействия сейсмических колебаний и изменяющих параметры полей напряжений в подработанном породном массиве, изменение его консолидации за счёт вторичных процессов (обезвоживание, дегазация). Не учитывается должным образом и влияние на горизонтальные сдвиги угла падения разрабатываемых пластов, хотя известно, что, например, они со стороны восстания во много раз (на порядок и больше) превышают величину этой деформации со стороны падения и, следовательно, в пределах мульды оседания карта ожидаемых деформаций неоднородная. В разных её секторах вероятность обеспечения эксплуатационной пригодности поверхностных объектов неодинакова даже в условиях, когда процесс сдвига уже завершился. При этом необходимо учитывать уступный характер деформаций в пределах полумульд (падения и восстания), зависящий при прочих равных условиях от угла падения пласта.

Выводы. Выше сказанное свидетельствует о необходимости дальнейших исследований по проблеме для решения сложных деформационных задач и разработке единой классификации на основе уточнения имеющихся и установления новых закономерностей проявления деформаций земной поверхности в зависимости от главных технологических и геомеханических факторов и критериев безопасной подработки поверхностных объектов.

Библиографический список

1. Chudek M. Geomechaka z podstawami ochrony środowiska górniczego i powierzchni terenu. – Gliwice: Wyd. Politechniki Śląskiej, 2002. – 637 s.
2. Вовк О.О. Вплив підземних гірничих робіт на стан доквілля // О.О. Вовк, В.М. Ісаєнко, В.Г. Кравець, О.О. Вовк. – К.: Вид-во НПУ ім. М.П. Драгоманова, 2011. – 543 с.
3. Козырев А.А. Прогноз и профилактика удароопасности месторождений на основе учета тектонических сил и автоматизированного контроля напряженного состояния и сейсмической активности массива пород // А.А. Козырев, В.И. Иванов и др. / Сб. прогноз и предотвращение горных ударов на рудниках месторождений Апатиты. – Кировск: 1987. – С. 22-34.
4. Айтматов И.Т. Региональный прогноз удароопасности рудных месторождений Средней Азии // И.Т. Айтматов. – Кировск: 1087. – С. 34-36.
5. Вовк О.А. Изменение физико-механических свойств породного массива под влиянием упругих возмущений // О.А. Вовк / Вісник Національного технічного університету України (КПІ). НТУУ КПІ Серія "Гірництво". Вип. 5. К: 2001. – С. 24-29.
6. M. Chydek, A.A. Kuzmenko, O.A. Wowk. O prognozowaniu intensywności sejsmicznego oddziaływania tąpnięcia // Materiały naukowe X jubileuszowe Międzynarodowe Sympozjum część I - polska Geotechnica – Geotechnics 2002 – Ustroń. – 2002. – s.195-205.
7. Chudek M., Krawiec W., Wowk A. Wpływ oddziaływania tąpnięć i wstrząsów masywu skalnego na obiekty powierzchniowe // Wiadomości górnicze, 9/2000. – 2000. – s. 370-379.
8. Chudek M. Wowk O.A., Kugiel M. Metoda geotechniczna stabilizacji i brzeźnych obszarów niecek osiadania. // Budownictwo gornicze i tunelowe. 2000. - №3. – s. 34-37.
9. Чан Юн Бок, Вовк О.А. Влияние литолого-тектонических факторов на напряженно-деформированное состояние горного массива // Прикладная гидромеханика. – 2003. Том 5 (77), №4. - С.73-81.
10. Zych J. Metoda prognozowania wpływów eksploatacji górniczej na powierzchnię terenu uwzględniająca asymetryczny przebieg procesu deformacji. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Górnictwo z. 164 Gliwice 1987. - 154.s.
11. Zych J. Możliwości zwiększenia dokładności prognozowania premiesztań i odształceń poziomych. Prace Naukowe GIG. Seria Konferencje Nr 20. Jchrona powierzchni I obiektów budowlanych pred szkodami górnicy. Katowice 1997. - s. 441-452.

Надійшла до редакції 20.12.2016

О.О. Вовк, В.В. Вапнічна, Н.А. Шевчук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

В.А. Гладішева

Національний авіаційний університет, м. Київ

КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ДЕФОРМАЦІЇ ПОВЕРХНІ ЗЕМЛІ НАД ПІДЗЕМНИМИ ГІРНИЧИМИ РОБОТАМИ

В статті розглядаються методи прогнозування деформації поверхні при веденні гірничих робіт підземним способом і запропонована класифікація, що враховує критерії, які дозволяють систематизувати взаємозв'язки літологічних, технологічних і геомеханічних факторів з їх проявом на денній поверхні.

Окремим завданням була оцінка ймовірнісних критеріїв мульдотворення на основі моделювання процесу деформації підроблюваного масиву. На основі узагальнень наявних даних аналізу процесу зрушення підробленого масиву і деформації поверхні, ступеня ймовірності виникнення процесу з поділом на категорії та групи на основі різних критеріїв була побудована комплексна номограма, що поєднує геометричний і деформаційний критерії. Аналіз розглянутих методик прогнозування розвитку деформаційних процесів вказує на ряд істотних недоліків, що обмежують область їх застосування. До них слід віднести відсутність взаємозв'язку деформаційних параметрів з глибиною, а також обмеження діапазону досліджуваної області невеликими глибинами, що не перевищують 150 м. Не відображена належним чином і динаміка процесів деформації в часі, а також вплив вторинних факторів (дегазація, зневоднення, повторна підробка). Для уточнення прогнозних оцінок в доповненні до шкали класифікації запропоновано здійснювати оцінку ступеня небезпеки за додатковим показником K_0 , названим коефіцієнтом

небезпеки. Він являє собою співвідношення фактичних величин горизонтальних деформацій до допустимих показників для відповідних категорій будівель.

Ключові слова: деформація поверхні, денна поверхня, підроблюваний масив.

O. Vovk, V. Vapnychnaia, N. Shevchyk

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kiev, Ukraine

V. Gladisheva

National Aviation University, Kiev, Ukraine

CLASSIFICATION OF METHODS OF THE EARTH SURFACE DEFORMATION UNDER THE UNDEGROUND MINING

The article describes methods of surface deformation prediction in mining by underground methods. The classification, based on the lithological, geomechanical and technological factors and their interrelations with manifestation on the surface were proposed.

A separate task was to assess the probability criteria of subsidence trough based on the modeling of deformation process of undermined array. On the basis of generalization of existing subsidence process of data analysis to earn solid and surface deformation, the degree of probability of the process with the division into categories and groups based on different criteria complex nomogram was constructed, combining geometric and deformation criteria. The analysis examined the development of prediction methods of deformation processes points to a number of significant drawbacks that limit their field of application. Among them is the absence of the interaction of deformation parameters with depth, as well as limiting the study area with small range of depths not exceeding 150 meters. Neither is recorded properly the dynamics of deformation processes in time, and the influence of secondary factors (degassing, dehydration, repeated part). For more accurate prognostic evaluation in addition to the grading scale we suggest estimating the degree of danger on the additional indicator, called the danger factor. It is the ratio of the actual values of horizontal deformations to acceptable figures for the corresponding categories of buildings.

Key words: surface deformation, daytime surface, developed array.