

Рис. 4. Расчетная схема для лопасти, расположенной под углом к направлению скольжения

Выводы. Таким образом, проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили обосновать метод оценки энергетической эффективности технологических приемов получения однородных высококачественных фиброармированных строительных композиций путем определения минимального усилия, действующего на лопасть и ее КПД.

При разработке (конструировании) лопастей сложной геометрической формы для обеспечения высококачественного перемешивания компонентов мелкозернистого фибробетона при минимальных энергетических затратах необходимо определить (установить для каждого упрощенного участка в виде плоскости) оптимальные углы скольжения – наименьшего сопротивления смеси движению лопасти.

Проведенные исследования подтверждают мнение других авторов [1; 2; 6], что энергоемкость полученной продукции и мощность, потребляемая смесительным агрегатом, напрямую зависят от КПД конкретного вида лопасти.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Королев К. М.** Эффективность приготовления бетонных смесей // Механизация строительства. – 2003. – № 6. – С. 7 – 8.
2. **Пулин В. П.** Повышение энергетической эффективности бетоносмесителей циклического действия / Дисс. канд. техн. наук. – Д. : ДИСИ, 1984. – 176 с.
3. **Пухаренко Ю. В.** Научные и практические основы формирования структуры и свойств фибробетонов / Дисс. докт. техн. наук. – СПб : С-ПГА-СУ, 2004. – 315 с.
4. **Кромская Н. Ф.** Исследование смесителя для приготовления дисперсно армированных бетонных смесей / Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Ленинград : ЛПИ, 1981. – 18 с.
5. **Дирк Хойер** Смешивание бетона и состояние техники // Строительство, материаловедение, машиностроение. – Ялта, 2010. – С. 38 – 43.

УДК 624.131

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОЖИДАЕМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ УСЛОВИЙ ШАХТ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА

*А. В. Яворский**, к. т. н., доц.

**Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет»*

Ключевые слова: охраняемые объекты, функция оседаний, «наносы – карбон», земная поверхность, напряженно-деформированное состояние, наклоны, кривизна

Введение. Поиск и реализация оптимального варианта технологии подземной разработки угольного месторождения, при котором наносится наименьший ущерб природе и охраняемым объектам при обеспечении необходимого уровня добычи, должны осуществляться на основе

анализа напряженно-деформированного состояния всей толщи пород подрабатываемого массива.

В случае выемки угольного пласта под охраняемыми объектами комплексно-механизированными лавами для планирования горных работ, выбора способа управления кровлей в очистных забоях и скорости перемещения лав необходимо установить границы областей повышенного горного давления в окрестности очистной выработки, а для разработки способов защиты охраняемых объектов нужно знать смещения и деформации земной поверхности.

Состояние вопроса. Границы зон повышенного горного давления и параметры механизированной крепи в настоящее время определяются в соответствии с «Рекомендациями по управлению кровлей и креплению очистных забоев» [6]. В них, однако, не рассматриваются особенности формирования зон повышенного горного давления в конкретных горно-геологических условиях, не учитываются характер распределения и уровень концентрации напряжений вокруг очистного забоя, скорость его перемещения, реологические свойства вмещающих пород, хотя все эти факторы существенно влияют на состояние кровли. Кроме того, не анализируются смещения и деформации земной поверхности.

При расчете же показателей деформации земной поверхности руководствуются отраслевым стандартом [4], который устанавливает правила рациональной выемки угля под существующими зданиями, сооружениями и природными объектами вне связи с упомянутыми технологическими параметрами. К тому же в этом нормативном документе слабо отражены физико-механические характеристики наносов и вмещающих пород, не учитываются их реологические свойства.

При таком подходе и меры по защите охраняемых объектов, и параметры системы разработки, используемые на практике, страдают несовершенствами.

Цель статьи – на основе единой расчетной схемы определить напряженно-деформированное состояние толщи пород и земной поверхности на любой стадии разработки угольного пласта, что позволит рассчитать рациональные для рассматриваемых горно-геологических условий скорости перемещения очистного забоя.

Данные скорости считаются рациональными, если деформации земной поверхности в зоне влияния очистных работ не превышают допустимых значений, регламентируемых отраслевыми стандартами.

Краткое описание математической модели задачи исследований и используемой расчетной схемы. Рассматриваемая плоская задача геомеханики формулируется применительно к горно-геологическим условиям шахт Западного Донбасса с учетом существующей математической аналогии между сдвижением горных пород и теплопроводностью на основе двух положений:

1. Напряженно-деформированное состояние подрабатываемого массива адекватно описывается моделью двухслойной линейно-наследственной среды «наносы – карбон» с ядром ползучести Абея, жесткость которой является кусочно-линейной функцией вертикальной координаты y ;

2. Опускание кровли в лаве по мере перемещения очистного забоя происходит по экспоненциальному закону в зависимости от отношения максимальной скорости оседания кровли U к скорости подвигания лавы V и от расстояния очистного забоя до разрезной печи L .

Расчетная схема изображена на рисунке 1.

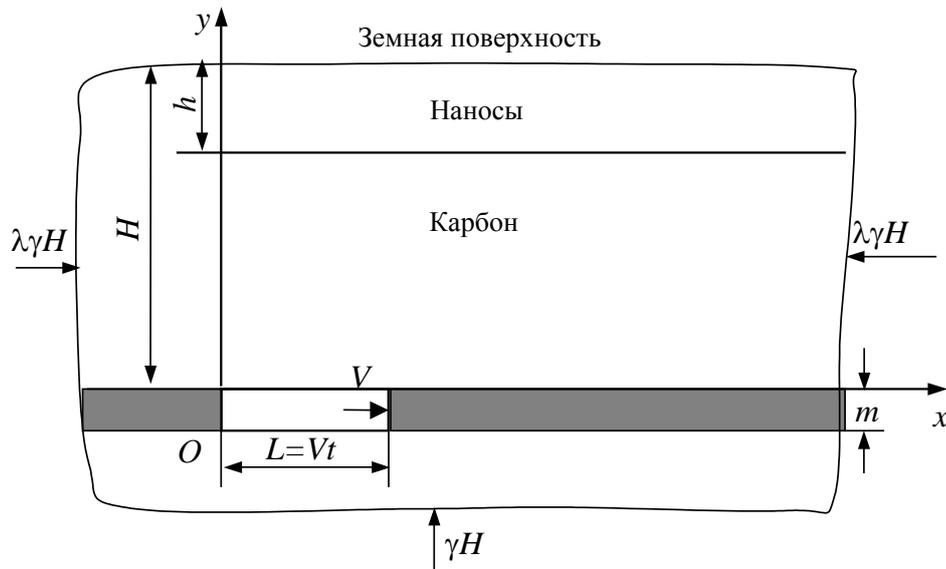


Рис. 1. Расчетная схема подрабатываемого массива

С учетом сформулированных научных положений исходное дифференциальное уравнение задачи (условие равновесия в виде суммы проекций на вертикальную ось Oy сил, действующих на элементарную ячейку исследуемой области, выраженное через перемещения) записывается в виде:

$$\frac{\partial \eta}{\partial y} = K(y) \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2}. \quad (1)$$

где $\eta(x, y, L)$ – функция оседаний.

Граничные (начальные) условия:

$$\eta(x, y, L)|_{y=0} = f(x, L) = \begin{cases} 0, & x < 0, \quad x > L, \\ \eta_0(1 - \exp(-aL)), & 0 < x < L, \end{cases} \quad (2)$$

$$\eta(x, y, L)|_{L=0} = 0,$$

где $\eta_0 = m$ – максимальный прогиб кровли в лаве;

m – мощность разрабатываемого пласта;

$a = a(U/V)$ – определяется по данным шахтных наблюдений;

U – скорость опускания кровли в среднем сечении лавы;

V – скорость перемещения очистного забоя;

$L = Vt$ – размер выработки;

t – время.

Общее решение дифференциального уравнения (1), полученное методом Фурье, представляет собой функцию

$$\eta(x, y, L) = \frac{I}{2\sqrt{\pi\varphi(y)}} \int_{-\infty}^{\infty} f(\xi, L) \exp\left(-\frac{(\xi-x)^2}{4\varphi(y)}\right) d\xi, \quad (3)$$

где

$$\varphi(y) = \int_0^y c_1^2 y dy = \frac{c_1^2 y^2}{2}, \quad y < y_1 = H - h, \quad (4)$$

$$\varphi(y) = \int_0^{y_1} c_1^2 y dy + \int_{y_1}^y [c_2^2 y + (c_1^2 - c_2^2)y_1] dy = \frac{c_2^2 y^2}{2} + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2} y_1 (2y - y_1), \quad y > y_1.$$

Здесь c_1^2 и c_2^2 – параметры, зависящие от отношения жесткостей породы на сдвиг и сжатие; индекс 1 относится к карбону, индекс 2 – к наносам.

Частное решение дифференциального уравнения (1), соответствующее граничным условиям (2), имеет вид:

$$\eta(x, y, L) = -\frac{\eta_0}{2}(1 - \exp(-aL)) \left[\Phi\left(\frac{L-x}{2\sqrt{\varphi(y)}}\right) + \Phi\left(\frac{x}{2\sqrt{\varphi(y)}}\right) \right], \quad (5)$$

где

$$\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z \exp(-t^2) dt. \quad (6)$$

Через функцию оседаний (5) с помощью известных дифференциальных соотношений выражаются все показатели деформации в любой точке исследуемой области массива, а именно:

наклоны

$$i(x, y, L) = \frac{\partial \eta}{\partial x} = -\frac{\eta_0(1 - \exp(-aL))}{4\sqrt{\varphi(y)}} \left[\Phi'\left(\frac{x}{2\sqrt{\varphi(y)}}\right) - \Phi'\left(\frac{L-x}{2\sqrt{\varphi(y)}}\right) \right], \quad (7)$$

кривизна кривой оседаний

$$k(x, y, L) = \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} = -\frac{\eta_0(1 - \exp(-aL))}{8\varphi(y)} \left[\Phi''\left(\frac{x}{2\sqrt{\varphi(y)}}\right) + \Phi''\left(\frac{L-x}{2\sqrt{\varphi(y)}}\right) \right], \quad (8)$$

горизонтальные смещения

$$\xi(x, y, L) = -K(y) \frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\eta_0 K(y)(1 - \exp(-aL))}{4\sqrt{\varphi(y)}} \left[\Phi'\left(\frac{x}{2\sqrt{\varphi(y)}}\right) - \Phi'\left(\frac{L-x}{2\sqrt{\varphi(y)}}\right) \right], \quad (9)$$

горизонтальные деформации

$$\varepsilon_x(x, y, L) = -K(y) \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} = \frac{\eta_0 K(y)(1 - \exp(-aL))}{8\varphi(y)} \left[\Phi''\left(\frac{x}{2\sqrt{\varphi(y)}}\right) + \Phi''\left(\frac{L-x}{2\sqrt{\varphi(y)}}\right) \right], \quad (10)$$

$$\varepsilon_y = -\varepsilon_x,$$

скорость оседания

$$U(x, y, L) = \frac{\partial \eta}{\partial t} = \frac{\eta_0}{2} aV \exp(-aVt) \left[\Phi\left(\frac{Vt-x}{2\sqrt{\varphi(y)}}\right) + \Phi\left(\frac{x}{2\sqrt{\varphi(y)}}\right) \right] - \frac{\eta_0 V}{4\sqrt{\varphi(y)}} (1 - \exp(-aVt)) \Phi'\left(\frac{Vt-x}{2\sqrt{\varphi(y)}}\right). \quad (11)$$

Сводка формул для определения максимальных показателей деформации земной поверхности. Максимальные значения показателей деформации земной поверхности получаются из соотношений (7) – (11) и определяются по формулам:

$$\eta_{max} = \eta(x, y, L) \Big|_{\substack{x=L/2 \\ y=H}} = -\eta_0(1 - \exp(-aL)) \Phi\left(\frac{L}{4\sqrt{\varphi(H)}}\right), \quad (12)$$

$$i_{max} = i(x, y, L) \Big|_{\substack{x=L \\ y=H}} = -\frac{\eta_0(1 - \exp(-aL))}{4\sqrt{\varphi(H)}} \left[\Phi'\left(\frac{L}{2\sqrt{\varphi(H)}}\right) - \Phi'(0) \right], \quad (13)$$

$$k_{max} = k(x, y, L) \Big|_{\substack{x=0,8L \\ y=H}} = -\frac{\eta_0(1 - \exp(-aL))}{8\varphi(H)} \left[\Phi''\left(\frac{0,4L}{\sqrt{\varphi(H)}}\right) + \Phi''\left(\frac{0,1L}{\sqrt{\varphi(H)}}\right) \right], \quad (14)$$

$$\xi_{max} = \xi(x, y, L) \Big|_{\substack{x=L \\ y=H}} = \frac{K(H)\eta_0(1 - \exp(-aL))}{4\sqrt{\varphi(H)}} \left[\Phi'\left(\frac{L}{2\sqrt{\varphi(H)}}\right) - \Phi'(0) \right], \quad (15)$$

$$\begin{aligned}
 (\varepsilon_x)_{max} &= -(\varepsilon_y)_{max} = \varepsilon_x \Big|_{x \approx 1,2L, y=H} = \varepsilon_x \Big|_{x \approx 0,8L, y=H} = \\
 &= \frac{\eta_0 K(H)(1 - \exp(-aL))}{8\varphi(H)} \left[\Phi''\left(\frac{0,6L}{\sqrt{\varphi(H)}}\right) - \Phi''\left(\frac{0,1L}{\sqrt{\varphi(H)}}\right) \right], \quad (16)
 \end{aligned}$$

$$U_{max} = U(x, y, L) \Big|_{x \approx L, y=H} = \frac{\eta_0}{2} aV \exp(-aVt) \Phi\left(\frac{L}{2\sqrt{\varphi(H)}}\right) - \frac{\eta_0 V}{4\sqrt{\varphi(H)}} (1 - \exp(-aVt)) \Phi'(0). \quad (17)$$

В рассматриваемых горно-геологических условиях полная подработка происходит при отношении L/H , равном единице. При этом максимальное оседание достигает значения, равного мощности m разрабатываемого пласта. Поэтому для условий полной подработки ($L=H$) формулы для максимальных значений показателей деформации земной поверхности (12) – (17) принимают вид:

$$\eta_{max} = -m(1 - \exp(-aH)) \Phi\left(\frac{H}{4\sqrt{\varphi(H)}}\right), \quad (18)$$

$$i_{max} = -\frac{m(1 - \exp(-aH))}{4\sqrt{\varphi(H)}} \left[\Phi'\left(\frac{H}{2\sqrt{\varphi(H)}}\right) - \Phi'(0) \right], \quad (19)$$

$$k_{max} = -\frac{m(1 - \exp(-aH))}{8\varphi(H)} \left[\Phi''\left(\frac{0,4H}{\sqrt{\varphi(H)}}\right) + \Phi''\left(\frac{0,1H}{\sqrt{\varphi(H)}}\right) \right], \quad (20)$$

$$\xi_{max} = \frac{K(H)m(1 - \exp(-aH))}{4\sqrt{\varphi(H)}} \left[\Phi'\left(\frac{H}{2\sqrt{\varphi(H)}}\right) - \Phi'(0) \right], \quad (21)$$

$$(\varepsilon_x)_{max} = -(\varepsilon_y)_{max} = \frac{mK(H)(1 - \exp(-aH))}{8\varphi(H)} \left[\Phi''\left(\frac{0,6H}{\sqrt{\varphi(H)}}\right) - \Phi''\left(\frac{0,1H}{\sqrt{\varphi(H)}}\right) \right], \quad (22)$$

$$U_{max} = \frac{m}{2} aV \exp(-aH) \Phi\left(\frac{H}{2\sqrt{\varphi(H)}}\right) - \frac{mV}{4\sqrt{\varphi(H)}} (1 - \exp(-aH)) \Phi'(0). \quad (23)$$

Параметр $\varphi(H)$ получается из второго уравнения (4) после подстановки в него $y = H$, $y_1 = H - h$ и замены c_1^2 и c_2^2 на соответствующие параметры c_{tk}^2 и c_m^2 , вычисленные с учетом фактора времени [8]. Соответствующая формула имеет вид:

$$\varphi(H) = \frac{c_m^2 H^2}{2} + \frac{c_{tk}^2 - c_m^2}{2} (H^2 - h^2). \quad (24)$$

Параметр $K(H)$ находится по формуле:

$$K(H) = c_m^2 H + (c_{tk}^2 - c_m^2)(H - h). \quad (25)$$

Безразмерные жесткостные параметры c_{tk}^2 и c_m^2 карбона и наносов, согласно принятой физической модели среды, определяются из соотношений:

$$c_{tk}^2 = \frac{c_k^2 E_{tk}}{E_k}, \quad c_m^2 = \frac{c_n^2 E_n}{E_n}, \quad (26)$$

где $c_k^2 = 0,075$ – определено по методике, описанной в работе [5], как среднее соответствующих значений c_i^2 вмещающих пород (аргиллита, алевролита и песчаника);

$c_n^2 = 0,0011$ – определено по той же методике;

$$E_{tk} = \frac{E_k}{1 + \Phi(t)}, \quad E_n = \frac{E_n}{1 + \Phi(t)} - \quad (27)$$

модули упругости карбона и наносов, найденные с учетом фактора времени;

$$\Phi(t) = \frac{\delta}{1 - \alpha} t^{1-\alpha} - \text{функция ползучести}; \quad (28)$$

α и δ – параметры ползучести породы.

Время t , для которого вычисляются модули упругости E_t по формулам (27), зависит от скорости V перемещения очистного забоя и размера L выработки.

При полной подработке $L = H$ и $t = \frac{H}{V}$.

Таблица 1

Расчет ожидаемых максимальных показателей деформации земной поверхности в условиях полной подработки

Исходные данные

Свойства угля и вмещающих пород

Порода	Объемный вес γ , т/м ³	Модуль упругости $E \cdot 10^{-3}$, МПа	Коэффициент Пуассона ν	Параметры ползучести		Предел прочности σ_c , МПа
				$\delta \cdot 10^3$, $c^{1-\alpha}$	α	
наносы	1,5	0,07	0,3	13,9	0,862	0,6
карбон	2,76	3,18	0,3	6,84	0,7	30
уголь	1,47	20	0,35	2,32	0,7	35

Приведенные в таблице 1 данные для карбона определены как средние значения соответствующих характеристик вмещающих пород (аргиллита, алевролита и песчаника) [1; 5; 7].

Таблица 2

Значения параметра $a = a(U/V)$

V , м/мес	40	80	120	150
a , 1/м	0,038	0,019	0,013	0,010

Значения параметра a определены по данным шахтных наблюдений [2].

Таблица 3

Жесткостные параметры

H , м	h , м	$\varphi(H)$, м ²				$K(H)$			
		V , м/мес				V , м/мес			
		40	80	120	150	40	80	120	150
200	50	343,5	400,3	435,9	456,4	2,77	3,23	3,51	3,67
	70	322,3	375,4	408,8	427,9	2,42	2,81	3,06	3,20
300	80	697,9	817,1	892,6	935,9	3,71	4,34	4,73	4,96
	120	633,5	741,3	809,7	848,9	3,06	3,58	3,91	4,09
400	100	1169,9	1374,1	1504,2	1579,1	4,72	5,54	6,06	6,36
	140	1097,8	1289,0	1410,9	1481,0	4,12	4,83	5,28	5,55
500	120	1741,8	2050,7	2248,3	2362,2	5,67	6,67	7,31	7,68
	180	1613,7	1899,3	2081,9	2187,2	4,82	5,66	6,20	6,51
600	150	2388,0	2816,6	3091,7	3250,7	6,43	7,58	8,31	8,74
	240	2149,3	2533,9	2780,7	2923,2	5,21	6,13	6,72	7,06
700	150	3182,4	3760,9	4132,4	4347,5	7,55	8,92	9,79	10,30
	240	2953,8	3488,4	3832,4	4031,4	6,38	7,52	8,25	8,68

Параметры $\varphi(H)$ и $K(H)$ определены по формулам (24) и (25) через безразмерные величины c_{ik}^2 и c_{in}^2 с использованием соотношений (26), (27) и (28). При этом время для условий полной подработки $t = H/V$.

Расчет ожидаемых максимальных показателей деформации земной поверхности в условиях полной подработки, исходя из вышеприведенных исходных данных, производится по формулам (18) – (23).

Результаты расчетов, отвечающих приведенным исходным данным, представлены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4

Максимальные значения наклонов и кривизны в мульде на земной поверхности при полной подработке

H, м	h, м	i_{max} , мм/м				$k_{max} \cdot 10^3$ 1/м			
		V, м/мес				V, м/мес			
		40	80	120	150	40	80	120	150
200	50	15,59	14,24	13,11	12,23	0,368	0,306	0,245	0,241
	70	16,09	14,70	13,54	12,63	0,393	0,328	0,285	0,259
300	80	10,93	10,05	9,55	9,12	0,182	0,152	0,137	0,127
	120	11,47	10,55	10,02	9,57	0,200	0,169	0,153	0,141
400	100	8,43	7,79	7,39	7,19	0,108	0,0920	0,0821	0,0778
	140	8,70	8,04	7,63	7,42	0,115	0,0983	0,0880	0,0835
500	120	6,90	6,36	6,08	5,89	0,0722	0,0615	0,0558	0,0522
	180	7,16	6,61	6,32	6,12	0,0776	0,0665	0,0605	0,0568
600	150	5,91	5,44	5,20	5,04	0,0529	0,0450	0,0409	0,0383
	240	6,23	5,74	5,48	5,31	0,0581	0,0500	0,0456	0,0429
700	150	5,11	4,70	4,48	4,35	0,0395	0,0336	0,0305	0,0286
	240	5,31	4,88	4,66	4,52	0,0422	0,0362	0,0329	0,0309

Таблица 5

Максимальные значения деформаций ε_x и скоростей оседаний в мульде на земной поверхности при полной подработке

H, м	h, м	$(\varepsilon_x)_{max}$, мм/м				U_{max} м/сут			
		V, м/мес				V, м/мес			
		40	80	120	150	40	80	120	150
200	50	0,973	0,945	0,903	0,853	20,78	38,24	53,61	63,43
	70	0,908	0,888	0,847	0,801	21,46	39,47	55,31	65,42
300	80	0,644	0,637	0,625	0,609	14,58	26,82	38,43	46,28
	120	0,580	0,583	0,575	0,561	15,30	28,15	40,33	48,55
400	100	0,489	0,487	0,481	0,476	11,24	20,78	29,60	36,14
	140	0,454	0,454	0,450	0,446	11,60	21,46	30,56	37,30
500	120	0,394	0,393	0,391	0,388	9,20	16,97	24,33	29,52
	180	0,360	0,361	0,360	0,358	9,55	17,63	25,27	30,67
600	150	0,325	0,326	0,324	0,323	7,88	14,51	20,78	25,22
	240	0,290	0,293	0,293	0,292	8,30	15,30	21,91	26,58
700	150	0,286	0,287	0,286	0,285	6,82	12,54	17,94	21,75
	240	0,258	0,261	0,261	0,260	7,07	13,01	18,62	22,59

Анализ полученных результатов. Как видно из таблицы 4, при увеличении мощности наносов h в 1,4...1,6 раз i_{max} возрастает в 1,04...1,1 раза, а k_{max} – в 1,13...1,2 раза.

Из таблицы 5 следует, что при таком увеличении h максимальная скорость оседания U_{max} возрастает в 1,07...1,1 раза, а максимальная деформация растяжения (сжатия) $(\varepsilon_x)_{max}$ уменьшается в 1,07...1,12 раза.

Это говорит о том, что при определении показателей деформирования земной поверхности нельзя пренебрегать наличием наносов.

Существенным образом на показатели деформации влияет также глубина разработки. Так, при увеличении H в 3,5 раза (от 200 до 700 м) максимальные наклоны i_{\max} , в зависимости от скорости перемещения очистного забоя V , уменьшаются в 2,8...3 раза, максимальная кривизна k_{\max} – в 8,4...9,3 раза, деформации растяжения (сжатия) $(\varepsilon_x)_{\max}$ – в 3,2...3,4 раза, а максимальная скорость оседания U_{\max} при этом уменьшается в 2,9...3,0 раза.

При увеличении скорости перемещения очистного забоя V в 3,75 раза (от 40 м/мес. до 150 м/мес.) i_{\max} уменьшается, в зависимости от глубины разработки H , в 1,2...1,27 раза, k_{\max} – в 1,4...1,53 раза, $(\varepsilon_x)_{\max}$ – в 1,02...1,14 раза, а максимальная скорость оседания U_{\max} при таком увеличении скорости перемещения очистного забоя возрастает в 3,0...3,2 раза.

Выводы. Таким образом, полученные в статье аналитические соотношения позволяют получить количественные оценки и наглядное представление о деформациях, причем не только на земной поверхности, но и на любом уровне подрабатываемого породного массива на любой стадии подработки (при любом значении размера выработанного пространства), что очень важно как для обоснования параметров технологии разработки, так и для проектирования мероприятий по защите охраняемых объектов.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Ержанов Ж. С.** Ползучесть осадочных горных пород (теория и эксперимент) / Ж. С. Ержанов, А. С. Сапрыгин, Г. Н. Гуменюк и др. – Алма-Ата : Наука, 1970. – 208 с.
2. Исследование влияния параметров напряженно-деформированного состояния горного массива на ведение очистных и подготовительных работ в условиях шахты «Степная» ГКХ «Павлоградуголь». Отчет о НИР / Национальный горный университет (НГУ); Руководитель А. Г. Кошка; № ГР 0102U004377. – Д., 2003. – 132 с.
3. **Новикова Л. В.** Оценка жесткости вмещающих пород слоистого массива / Л. В. Новикова, Л. И. Заславская, А. В. Яворский // Науковий вісник НГУ. – 2006. – № 9. – С. 7 – 8.
4. Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом / Отраслевой стандарт. – К. : Мінпаливенерго України, 2004. – 127 с.
5. СНиП – 15-74 «Основания зданий и сооружений». – М. : Стройиздат, 1975. – 64 с.
6. Управление кровлей и крепление в очистных забоях на угольных пластах с углом падения до 35°.– К. : Мінтопэнерго України, 2002. – 142 с.
7. **Усаченко Б. М.** Свойства пород и устойчивость горных выработок / Б. М. Усаченко – К. : Наукова думка, 1979. – 136 с.
8. **Яворський А. В.** Напружено-деформований стан породного масиву при відпрацюванні пологого вугільного пласта під охоронюваними об'єктами : моногр. / А. В. Яворський, О. Г. Кошка, В. П. Сердюк, О. О. Яворська – Д. : Національний гірничий університет, 2010. – 121 с.

УДК 625.1

МЕТОДИКА АНАЛІТИЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ДОРІГ

*В. В. Ковальов, к. т. н., О. С. Чернишова, к. т. н.
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна*

Ключові слова: стійкість укосу, земляне полотно, армування ґрунтів

Постановка проблеми. Одним із ключових напрямів забезпечення безпечного і безперерйного функціонування залізничних та автомобільних земляних транспортних споруд є достовірне визначення їх стійкості.

Аналіз публікацій. Питання стійкості укосів стає все більш актуальним у зв'язку з перспективною необхідністю підвищення швидкості руху, що, як відомо, зменшує стійкість земляного полотна доріг [1; 2].