

DOI: 10.26730/1999-4125-2017-6-76-83

УДК622.1:622.834

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗА ОЖИДАЕМЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СДВИЖЕНИЙ ТОЧЕК ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО ПРОСТИРАНИЮ ЛАВЫ ПРИ ОТРАБОТКЕ ПОЛОГИХ И НАКЛОННЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ КУЗБАССА ВЫСОКОМЕХАНИЗИРОВАННЫМИ ЗАБОЯМИ**THE PRINCIPLES FOR CALCULATING THE ANTICIPATED DYNAMIC DISPLACEMENTS OF THE POINTS OF THE UNDERMINED EARTH'S SURFACE ALONG THE STRIKE OF THE LONGWALL DURING MINING OF THE SLOPING AND INCLINED COAL SEAMS OF KUZBASS BY HIGHLY MECHANIZED FACES****Свирко Сергей Владимирович¹,**

аспирант, e-mail: svirko@ngs.ru

Sergey V. Svirko¹, Postgraduate**Ренев Алексей Агафангелович¹,**

докт. техн.наук, зав.каф., профессор, e-mail: raa@kuzstu.ru

Aleksey A. Renev¹, D. Sc. in Engineering, Professor, Head of the Department**Быкадоров Алексей Иванович²,**

канд.техн. наук, ген. директор, e-mail: aibykadorov@mail.ru

Aleksey I. Bykadorov², C. Sc. in Engineering, Director General¹Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28¹T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation² Сибирский институт геотехнических исследований, 653000, Россия, Кемеровская область, г. Прокопьевск, ул. К.Либкнехта, 4² Siberian Institute of Geotechnical Investigations, 4 street Karl Liebknecht, Prokopyevsk, 653000, Russian Federation

Аннотация: Системно излагаются основы расчета ожидаемых динамических сдвижений точек земной поверхности по простиранию лавы при отработке пологих и наклонных угольных пластов Кузбасса высокомеханизированными забоями. Используемые аналитические зависимости установлены по данным частотных инструментальных наблюдений на профилейных линиях.

Приведен пример расчетов из научно-практического опыта Сибирского института геотехнических исследований в области решения геотехнических задач при разработке угольных месторождений.

Abstract: The principles for calculating the anticipated dynamic displacements of the points of the undermined earth's surface along the longwall strike during mining of the sloping and inclined coal seams of Kuzbass by highly mechanized faces are systematically presented. The applied analytical dependencies are established based on the data of instrumental frequency observations on the profile lines.

An example of calculations from the scientific and practical experience of the Siberian Institute of Geotechnical Research in the field of solving geotechnical problems in the development of coal deposits is given.

Ключевые слова: Земная поверхность, подработка, динамическая мульда, оседание, горизонтальное сдвижение, скорость подвигания забоя, расчет.

Key words: Daylight surface, undermining, dynamic trough, subsidence, horizontal displacements, rate of face advance, calculation.

При отработке угольных пластов системами разработки с обрушением кровли на земной поверхности образуется мульда сдвижения- участок земной поверхности, подвергшийся сдвигению под влиянием очистной выработки. Размеры

мульды, величины ожидаемых сдвижений и деформаций поверхности определяются по основному нормативному документу – «Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на уголь-

ных месторождениях» [1]. Значения углов сдвига, граничных углов и углов полных сдвижений, а также типовые распределения сдвижений и деформаций в мульде, полученные как средние результаты многочисленных наблюдений за сдвижением земной поверхности в определенном угольном бассейне или его части. При этом основная часть наблюдений производилась в 60-70-х годах прошлого века при скоростях подвигания очистных забоев не более 5м/сутки и размерах выемки вкрест простирания до 80-120м. Хотя большинство ученых сходилось во мнении, что углы сдвига имеют только локальное значение, то есть определяют точку сдвига на земной поверхности для определенного очистного забоя и глубины разработки, в нормативные документы по прогнозному расчету сдвижений вошли четко фиксированные значения углов сдвига вне зависимости от глубины разработки и скорости подвигания очистных забоев. Также обстоит дело и с типовыми распределениями. Кроме того, используемый метод типовых кривых предназначен для условий закончившегося процесса сдвига подрабатываемой земной поверхности и не учитывает его развитие в динамике.

В настоящее время средняя скорость подвигания высокомеханизированных очистных забоев достигает 15м/сутки и более. Выросли и глубины разработки и размеры выработок вкрест простирания. На современном этапе развития науки о сдвигении земной поверхности внимание ученых и практиков сосредоточено на вопросах именно развития процесса сдвига во времени, так как всякий объект, любая точка земной поверхности, попадая в зону влияния очистных работ, подвергается, прежде всего, воздействию изменяющихся сдвижений и деформаций, которые вызваны прохождением под ней очистного забоя.

Для условий Кузбасса были проведены инструментальные наблюдения за сдвижением и деформациями земной поверхности над движущимся очистным забоем при разработке пологих и наклонных угольных пластов в новых условиях – с повышенными скоростями подвигания и увеличенными размерами лав вкрест простирания. Создана база инструментальных наблюдений в виде экселевских таблиц ведомостей сдвижений и деформаций по профильным линиям наблюдательных станций на различных шахтах Кузбасса, на основании которой А.С. Ягуновым рассмотрена динамика формирования профиля мульды сдвига в зависимости от подвигания очистного забоя [2]. При этом введены термины:

- *динамическая мульда сдвига* – состояния мульды сдвига в процессе ее формирования в зависимости от положения очистного забоя лавы относительно монтажной камеры;

- *динамическая микромульда сдвига* – состояния динамической мульды сдвига при

отходе очистного забоя лавы от монтажной камеры до образования «плоского дна»;

- *динамическое оседание земной поверхности* η_0 (мм; м) – вертикальная составляющая векторов сдвига точек в динамической мульде сдвига в зависимости от положения очистного забоя лавы относительно монтажной камеры;

- *динамическое горизонтальное сдвижение земной поверхности* ξ_0 (мм; м) – горизонтальная составляющая векторов сдвига точек в динамической мульде сдвига в зависимости от положения очистного забоя лавы относительно монтажной камеры;

- *полумульда «позади забоя»* $L_{ПЗ}$ – полумульда со стороны монтажной камеры;

- *полумульда «впереди забоя»* $L_{ВЗ}$ – соответственно со стороны демонтажной камеры.

На основе проведенных инструментальных наблюдений нами исследованы закономерности оседаний и горизонтальных сдвижений отдельных точек поверхности при прохождении под ними очистного забоя [3 - 8]. Введенные в работе [2] термины сохранены. Установленные закономерности позволили разработать методику прогноза ожидаемых динамических сдвижений отдельных точек земной поверхности при отработке пологих угольных пластов Кузбасса высокомеханизированными одиночными лавами, основные положения которой приведены в данной статье.

Исходные данные для прогноза

Разработанная методика прогноза опирается на следующие исходные данные: m - мощность пласта, м; α - угол падения пласта, град.; H_{CP} - средняя глубина разработки, м; D_2 - длина лавы по простиранию пласта (D_{2x} – ее текущее значение), м; D_1 - длина лавы вкрест простирания пласта, м; c - скорость подвигания забоя, м/сут.; h_n - мощность наносов, м.

Кроме того, методикой используются угловые параметры Кузнецкого бассейна, установленные «Правилами охраны ...» [1]:

- граничные углы для пологих и наклонных пластов, градусы: $\beta_0 = 75^\circ - 0.9\alpha$, $\gamma_0 = 70^\circ$, $\delta_0 = 70^\circ$, $\varphi_0 = 45^\circ$ (в обводнённых наносах и пловунах $\varphi_0 = 30^\circ$);

- углы сдвига, градусы: $\beta = 82^\circ - \alpha$, $\gamma = 80^\circ$, $\delta = 80^\circ$, $\varphi = 55^\circ$ (в пловунах и обводнённых галечниках $\varphi = 45^\circ$);

- углы максимального оседания и полных сдвижений, градусы: $\theta = 90^\circ - 0.5\alpha$, $\psi_1 = 50^\circ - 0.25\alpha$, $\psi_2 = 50^\circ + 0.38\alpha$, $\psi_3 = 50^\circ$.

Также применяются параметры, установленные по данным инструментальных наблюдений:

- граничный динамический угол сдвига в

коренных породах впереди забоя $\delta'_0 = 77^\circ$ (установлен А.С. Ягуновым [2]);

- граничный угол δ_{0M} со стороны монтажной камеры при формировании динамической микромульды, зависящий от положения очистного забоя:

$$\text{при } \frac{D_{2x}}{H_{CP}} < 0.3 \quad \delta_{0M} = 80 \cdot e^{-1.2} + 70$$

$$\text{при } 0.3 \leq \frac{D_{2x}}{H_{CP}} < 1.6$$

$$\delta_{0M} = 80 \cdot \exp\left(-4 \cdot \frac{D_{2x}}{H_{CP}}\right) + 70$$

$$\text{при } \frac{D_{2x}}{H_{CP}} \geq 1.6 \quad \delta_{0M} = \delta_0$$

- динамический угол $\theta_{ПМ}$, определяющий положение максимального оседания микромульды вдоль лавы при ее формировании:

$$\text{при } \frac{D_{2x}}{H_{CP}} < 0.3 \quad \theta_{ПМ} = 96.5$$

$$\text{при } 0.3 \leq \frac{D_{2x}}{H_{CP}} < 1.6$$

$$\theta_{ПМ} = -15 \cdot \frac{D_{2x}}{H_{CP}} + 101$$

$$\text{при } \frac{D_{2x}}{H_{CP}} \geq 1.6 \quad \theta_{ПМ} = 77$$

- средние динамические углы полных сдвижений $\psi_{3M} = 60.3^\circ$ и $\psi_{3Д} = 44.2^\circ$, достигнутые при формировании микромульды.

Параметры динамической мульды и её характерные зоны.

- развивающаяся динамическая мульда по простиранию d_{3x} при различных положениях очистного забоя, оцениваемых расстоянием D_{2x} от монтажной камеры, м

$$d_{3x} = D_{2x} + (H_{CP} - h_n) \cdot (\text{ctg}\delta'_0 + \text{ctg}\delta_0) + 2h_n \cdot \text{ctg}\varphi_0; D_{2x} \in [0.3H_{CP}; D_2]$$

- мульда по простиранию при полной отработке лавы L_3 , м

$$L_3 = D_2 + (H_{CP} - h_n) \cdot (\text{ctg}\delta'_0 + \text{ctg}\delta_0) + 2h_n \cdot \text{ctg}\varphi_0$$

- микромульда при достижении максимальных оседаний по простиранию пласта L_{30} , м

$$L_{30} = 1.6H_{CP} + (H_{CP} - h_n) \cdot (\text{ctg}\delta'_0 + \text{ctg}\delta_0) + 2h_n \cdot \text{ctg}\varphi_0$$

- полумульда позади забоя $L_{ПЗ}$, м

$$\text{при } D_{2x} \geq 1.6 \cdot H_{CP}$$

$$L_{ПЗ} = H_{CP} \cdot \text{ctg}\psi_{3M} + (H_{CP} - h_n) \text{ctg}\delta_0 + h_n \text{ctg}\varphi_0$$

$$\text{при } D_{2x} < 1.6 \cdot H_{CP}$$

$$L_{ПЗМ} = 0.5D_{2x} + (H_{CP} - h_n) \text{ctg}\delta_{0M} + h_n \text{ctg}\varphi_0 - H_{CP} \cdot \text{ctg}\theta_{ПМ}$$

- полумульда впереди забоя $L_{ВЗ}$, м

$$\text{при } D_{2x} \geq 1.6 \cdot H_{CP}$$

$$L_{ВЗ} = H_{CP} \cdot \text{ctg}\psi_{3Д} + (H_{CP} - h_n) \text{ctg}\delta'_0 + h_n \text{ctg}\varphi_0$$

$$\text{при } D_{2x} < 1.6 \cdot H_{CP}$$

$$L_{ВЗМ} = 0.5D_{2x} + (H_{CP} - h_n) \text{ctg}\delta'_0 + h_n \text{ctg}\varphi_0 + H_{CP} \cdot \text{ctg}\theta_{ПМ}$$

- плоское дно по простиранию $L_{П.ДНО}$, м

$$L_{П.ДНО} = L_3 - L_{ПЗ} - L_{ВЗ};$$

- полумульды по падению $L_{П}$ и восстанию $L_{В}$

$$\text{при } \frac{D_1}{H_{CP}} \leq 1.6, \text{ м};$$

$$L_{П} = h_n \cdot \text{ctg}\varphi_0 + (H_{CP} + 0.5D_1 \sin \alpha - h_n) \cdot \text{ctg}\beta_0 + 0.5D_1 \cos \alpha - H_{CP} \cdot \text{ctg}\theta$$

$$L_{В} = h_n \cdot \text{ctg}\varphi_0 + (H_{CP} - 0.5D_1 \sin \alpha - h_n) \cdot \text{ctg}\gamma_0 + 0.5D_1 \cos \alpha + H_{CP} \cdot \text{ctg}\theta$$

- полумульды по падению $L_{ПД}$ и восстанию $L_{ВД}$

$$\text{при } \frac{D_1}{H_{CP}} > 1.6, \text{ м}$$

$$L_{ПД} = h_n \cdot \text{ctg}\varphi_0 + (H_{CP} + 0.5D_1 \sin \alpha - h_n) \cdot \text{ctg}\beta_0 + (0.5D_1 \sin \alpha + H_{CP}) \cdot \text{ctg}(\psi_1 + \alpha)$$

$$L_{ВД} = h_n \cdot \text{ctg}\varphi_0 + (H_{CP} - 0.5D_1 \sin \alpha - h_n) \cdot \text{ctg}\gamma_0 + (-0.5D_1 \sin \alpha + H_{CP}) \cdot \text{ctg}(\psi_2 - \alpha)$$

- плоское дно вкрест простирания, м

$$L_{ВК.ДНО} = L_{П} + L_{В} - L_{ПД} - L_{ВД}.$$

В динамической мульде вдоль подвигания очистного забоя (по простиранию лавы) выделены четыре характерные зоны, в которых различны закономерности изменения вертикальных и горизонтальных составляющих сдвижения отдельных точек поверхности (рис. 1).

Размеры зон L_A , L_B , L_C , L_D вычисляются по эмпирическим граничным углам: $\delta_A = 73^\circ$, $\delta_B = 43^\circ$, $\delta_C = 60^\circ$ и $\delta_D = 83^\circ$.

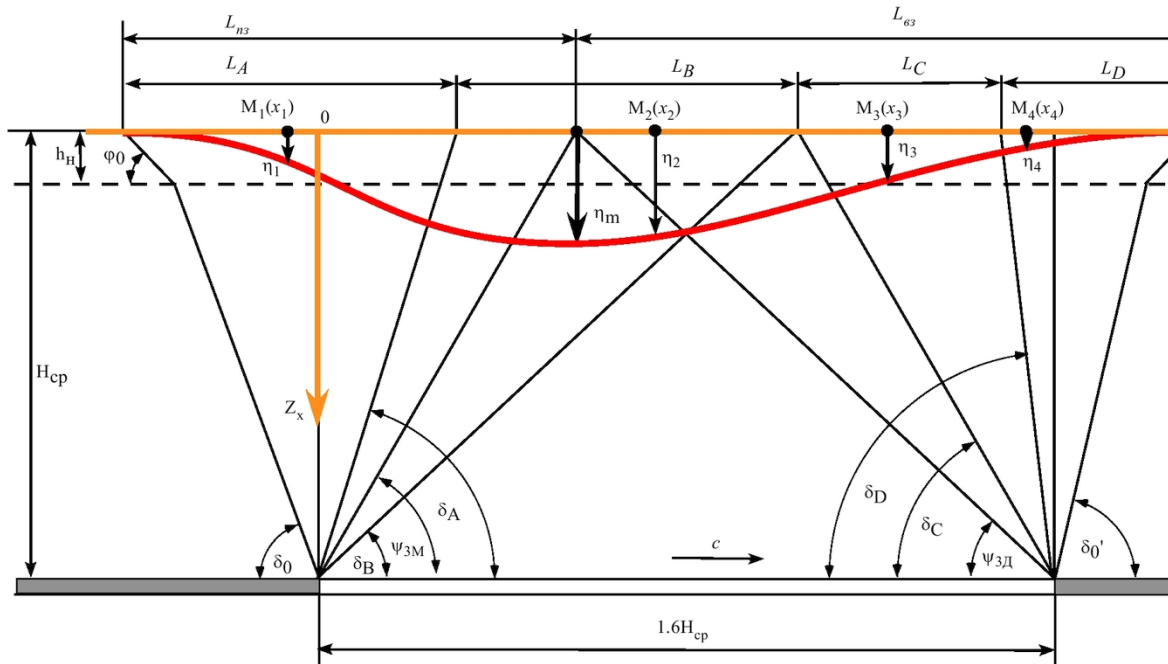


Рис. 1 - Характерные зоны сдвижения **A, B, C** и **D** и их длины L_A, L_B, L_C, L_D в сформированной микромудле при положении очистного забоя $D_{2x} = 1,6H_{CP}$ на разрезе по простиранию лавы.

Задание положения точки $M(x)$ в мульде сдвижения производится в системе координат XOZ_x , показанной на рис.1. Начало координат расположено в центре монтажной камеры, ось OX направлена по центру лавы в направлении подвигания очистного забоя. От монтажной камеры в сторону подвигания забоя координата x положительна, в обратную сторону – отрицательна. По оси Z_x откладываются величины оседаний точек поверхности.

Точка $M_1(x_1)$ находится в зоне **A** при условии: $0 \leq x_1 + \Delta x \leq L_A$. При этом все точки зоны **A** находятся в полумудле $L_{ПЗ}$.

Точки зоны **B** могут находиться в точка $M_2(x_2)$ находится в полумудле $L_{ПЗ}$, если $L_A < x_2 + \Delta x \leq L_{ПЗ}$;

- условие наличия плоского дна: $L_3 > L_{B3} + L_{ПЗ}$;

- при отсутствии плоского дна точка $M_2(x_2)$ находится в полумудле L_{B3} , если $L_{ПЗ} < x_2 + \Delta x \leq L_A + L_B$;

- при наличии плоского дна точка $M_2(x_2)$ находится в плоском дне, если $L_{ПЗ} < x_2 + \Delta x \leq L_{ПЗ} + L_{ПДНО}$;

- при наличии плоского дна точка $M_2(x_2)$ находится в полумудле L_{B3} если:

$$L_{ПЗ} + L_{ПДНО} < x_2 + \Delta x \leq L_{ПДНО} + L_A + L_B.$$

Точка $M_3(x_3)$ находится в зоне **C** при условиях:

- при отсутствии плоского дна если: $L_A + L_B < x_3 + \Delta x \leq L_{ПЗ} + L_{B3} - L_D$;

- при наличии плоского дна если:

$$L_A + L_B + L_{ПДНО} < x_3 + \Delta x \leq L_{ПЗ} + L_{B3} + L_{ПДНО} - L_D$$

Точка $M_4(x_4)$ находится в зоне **D** при условиях:

- при отсутствии плоского дна если: $L_A + L_B$

$+ L_C < x_4 + \Delta x \leq L_{ПЗ} + L_{B3}$;

- при наличии плоского дна если: $L_3 - L_D < x_4 + \Delta x \leq L_3$.

Точка $M_k(x_k)$ находится вне зоны влияния если $0 > x_k + \Delta x > L_3$.

В зоне **A** максимальное оседание произвольной точки $M_1(x_1)$ рассчитываем по формуле (1):

$$\eta_{mA} = \eta_m \cdot [0.382 \cdot$$

$$\text{arcctg} \left(-8.045 \cdot \frac{x_1 + \Delta x}{L_{ПЗ}} + 4.25 \right) - 0.089]$$

$$\eta_m = \left[0.7 + 0.25 \frac{H_{II}}{H} \right] \cdot m \cdot \cos \alpha \cdot N_1 \cdot N_2$$

Динамические оседания точки в зависимости от положения очистного забоя рассчитываются по формуле:

$$\eta_{x,A}(lt) = \eta_{mA} \cdot (1 - e^{-7 \cdot lt}); lt \in [0; 1] \quad (2)$$

При этом положение очистного забоя dx от монтажной камеры находится по выражению:

$$dx(lt) = (0.3 + 1.3 \cdot lt) \cdot H_{CP}$$

Для представления динамических оседаний заданной точки в миллиметрах величина $\eta_{x,A}(lt)$ умножается на -10^3 .

Зона **B** по характеру динамических оседаний точки $M_2(x_2)$ делится на подзоны:

- точки в полумудле $L_{ПЗ}$. Максимальное оседание $\eta_{mBL_{ПЗ}}$ вычисляется по формуле (1). Динамические оседания – по формуле (3):

$$\eta_{x_2BL_{ПЗ}}(lt) = \eta_{mBL_{ПЗ}} \cdot [0.362 \cdot \text{arcctg}(-13.3 \cdot lt + 3.5) - 0.1] \quad (3)$$

$$dx(lt) = (0.3 + 1.3 \cdot lt) \cdot H_{CP}$$

- точки в плоском дне при его наличии. Максимальное оседание точек равно η_m . Динамическое оседание вычисляется по формуле (4):

$$\eta_{x_2 B_{дно}}(lt) = \eta_m \cdot [0.362 \cdot \text{arcctg}(-13.3 \cdot lt + 3.5) - 0.1] \quad (4)$$

$$dx(lt) = x_2 - 0.3 \cdot H_{CP} + 1.3 \cdot lt \cdot H_{CP}$$

- точки в полумульде L_{B3} при отсутствии плоского дна. Максимальное оседание точки вычисляется с учетом скорости подвигания очистного забоя по формулам (5):

$$\eta_{mBL_{B3}}(lt) = \eta_m \cdot [0.392 \cdot \text{arcctg} \left(7.487 \cdot \frac{x_2 + \Delta x - L_{ПЗ}}{L_{B3}} - 11.35 \right) - 0.118]$$

при $V_{O3} \leq 5$ м/сут

$$\eta_{mBL_{B3}}(lt) = \eta_m \cdot [0.395 \cdot \text{arcctg} \left(7.117 \cdot \frac{x_2 + \Delta x - L_{ПЗ}}{L_{B3}} - 10.468 \right) - 0.111]$$

при $V_{O3} = 10$ м/сут(5)

$$\eta_{mBL_{B3}}(lt) = \eta_m \cdot [0.43 \cdot \text{arcctg} \left(5.333 \cdot \frac{x_2 + \Delta x - L_{ПЗ}}{L_{B3}} - 7.279 \right) - 0.138]$$

при $V_{O3} \geq 15$ м/сут

При промежуточных значениях скоростей вычисления производятся методом интерполяции.

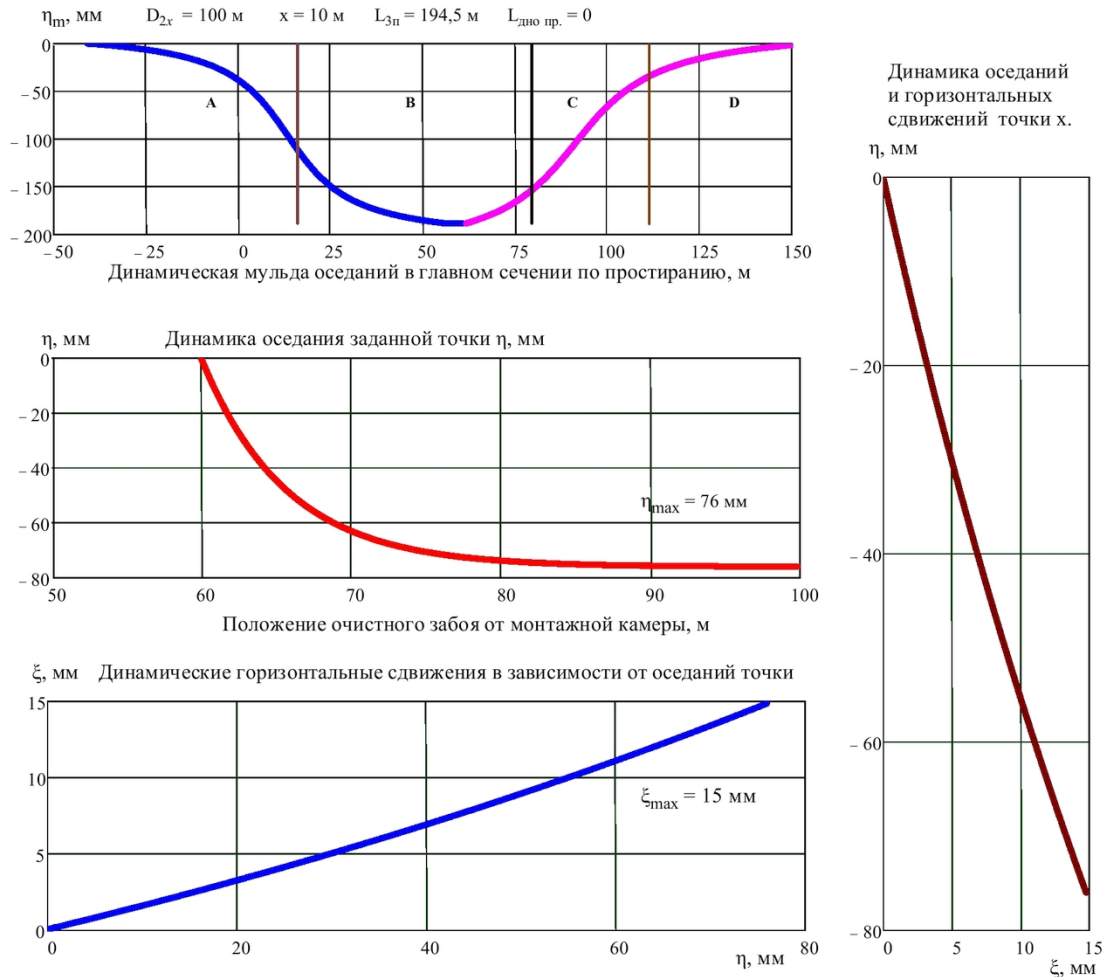


Рис. 2 – Расчет к примеру. Микромуфта не достигла полных сдвижений полумульдах $L_{ПЗ}$, L_{B3} или в плоском дне при его наличии. Для определения их положения необходимо произвести проверку следующих условий:

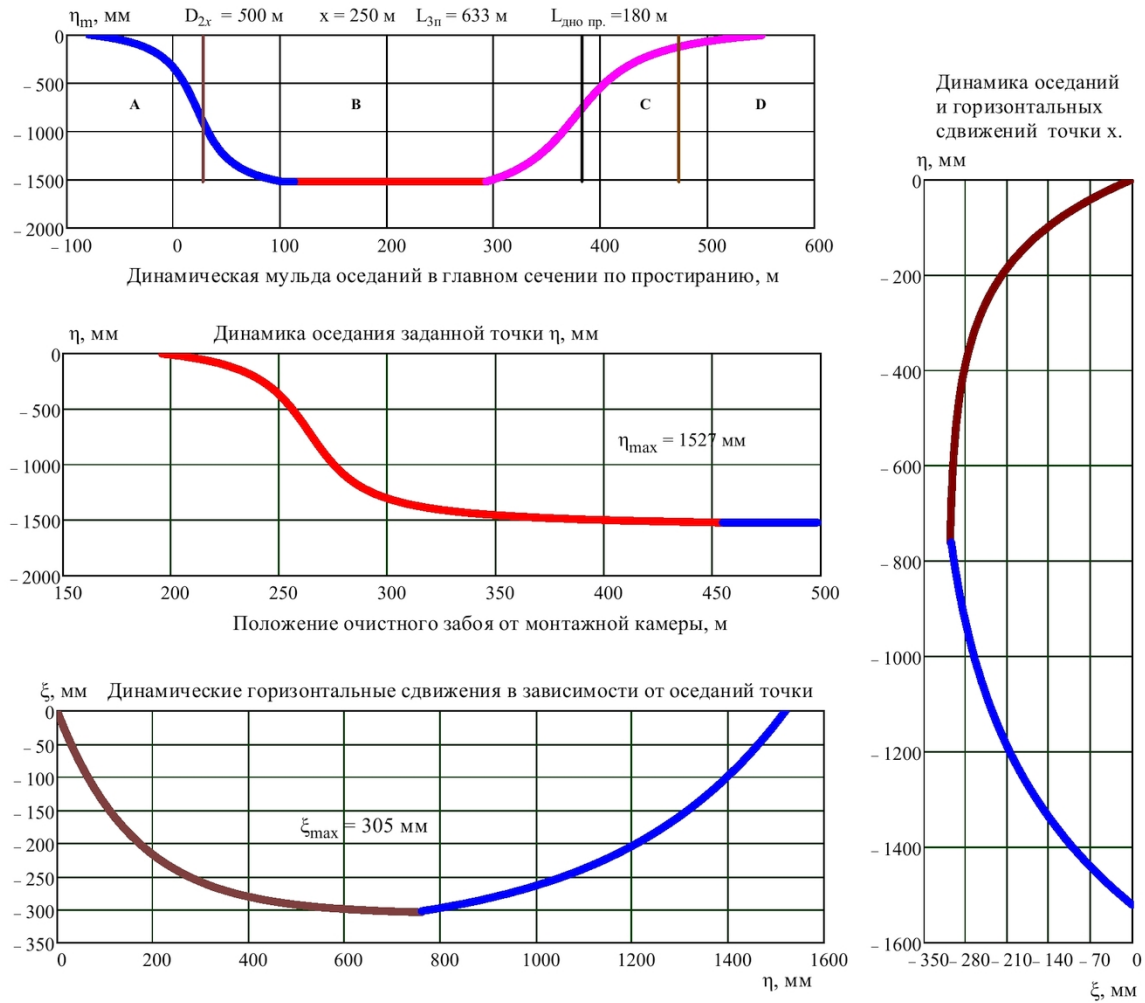


Рис.3 – Расчет к примеру. Динамическая муфта сдвижений имеет «плоское дно».

Динамическое оседание вычисляется по формуле (6):

$$\eta_{x_2BL_{B3}}(lt) = \eta_{mBL_{B3}} \cdot [0.362 \cdot \text{arcctg}(-13.3 \cdot lt + 3.5) - 0.1] \quad (6)$$

$$dx(lt) = x_2 - 0.3 \cdot H_{CP} + 1.3 \cdot lt \cdot H_{CP};$$

- точки в полумульде L_{B3} при наличии плоского дна. В этом случае из координаты точки x_2 вычитается длина плоского дна и вычисления проводятся по формулам (5) и (6).

В зонах **С** и **Д** произвольные точки поверхности $M_3(x_3)$, $M_4(x_4)$ находятся в полумульде L_{B3} . Максимальные оседания точек определяются по формулам (5) с заменой переменного нормированного сомножителя аргумента обратной тригонометрической функции. Динамические оседания вычисляются по формулам (7):

$$\eta_{x_3C}(lt) = \eta_{mC} \cdot [0.37 \cdot \text{arcctg}(-10 \cdot lt + 4.1) - 0.09]$$

$$\eta_{x_4D}(lt) = \eta_{mD} \cdot [0.03 \cdot e^{3.536 \cdot lt} - 0.03] \quad (7)$$

$$dx(lt) = x_{3,4} - 0.3 \cdot H_{CP} + 1.3 \cdot lt \cdot H_{CP}$$

Горизонтальные динамические сдвигения произвольной точки поверхности в главном сечении по простиранию определяются через ее динамические оседания:

- в зоне А:

$$\xi_A = \eta_m \cdot (a_0 \cdot e^{a_1 \cdot \eta_A} - a_0) \quad (8)$$

- в зоне В при сдвиге в сторону монтажной камеры:

$$\xi_B = \eta_m \cdot (a_0 \cdot e^{-a_1 \cdot \eta_B} - a_0) \quad (9)$$

- в зоне В при сдвиге в сторону демонтажной камеры:

$$\xi_B = \eta_m \cdot (a_0 \cdot e^{a_1 \cdot \eta_B} - a_2) \quad (10)$$

- в зонах С и Д вычисления производятся по формулам (9) при соответствующих оседаниях η_C , η_D и своих эмпирических коэффициентах.

Эмпирические коэффициенты a_0 , a_1 , a_2 функций (8)-(10) для зон А, В, С, Д определены методом наименьших квадратов.

Расчет динамических оседаний и горизонтальных сдвижений представляет собой многова-

риантные вычисления с условными и безусловными переходами на различные формулы и замены эмпирических коэффициентов. Разработан алгоритм расчета и записан на языке программирования компьютерной системы Mathcad. Это удобно тем, что сразу получаем результат вычислений, легко изменить или добавить в алгоритм элементы расчета и посмотреть промежуточные результаты.

Аналогичные закономерности и эмпирические зависимости установлены для точек поверхности в главном поперечном сечении и в любой точке зоны влияния очистных работ.

Пример: обрабатывается лава шириной 200м, длиной 1000м на средней глубине 200м со скоростью подвигания очистного забоя 15м/сут. Угол падения пласта 10° , вынимаемая мощность 3 м.

На рис. 2 приведен расчет ожидаемых оседаний и горизонтальных сдвижений точки поверхности в зоне А. Точка х находится на расстоянии 10м от монтажной камеры, при положении очистного забоя 100м от монтажной камеры. Микромульда не достигла полных сдвижений, её длина 194,5м. Оседание точки начинается при положении очистного забоя в 60м от монтажной камеры и далее точка оседает по убывающей экспоненте до максимальной величины $\eta_{\max} = 76\text{мм}$. Горизонтальное сдвижение точки в зависимости от величины оседания растет почти линейно до максимальной величины $\xi_{\max} = 15\text{мм}$. Точка сдвигается в

сторону демонтажной камеры.

На рис. 3 приведен расчет ожидаемых оседаний и горизонтальных сдвижений точки поверхности в зоне В. При отходе очистного забоя на 500м от монтажной камеры динамическая мульда сдвижений размером 633м имеет «плоское дно» длиной 180м. Исследуемая точка х находится на расстоянии 250м от монтажной камеры в зоне В. Оседание точки начинается при положении очистного забоя в 200м от монтажной камеры, и далее точка оседает по сигмоиде до максимальной величины $\eta_{\max} = 1527\text{мм}$. Горизонтальное сдвижение точки в зависимости от величины оседания можно трактовать как возвратно поступательное до максимальной величины $\xi_{\max} = 15\text{мм}$. Точка сдвигается сначала в сторону демонтажной камеры до максимальной величины $\xi_{\max} = 305\text{мм}$ по убывающей экспоненте, затем возвращается по возрастающей экспоненте.

Рассматриваемая методика прогноза ожидаемых динамических сдвижений отдельных точек подрабатываемой земной поверхности используется экспертами СИГИ в качестве дополнения к «Правилам охраны ...» [1] при разработке мер защиты зданий, сооружений, коммуникаций и природных объектов от вредного влияния горных работ. Это повышает научную обоснованность и надежность принимаемых решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных работ на угольных месторождениях. СПб, ВНИМИ, 1998, 290 с.
2. Ягунов А.С. Динамика деформаций в подрабатываемом горном массиве / Минэнерго РФ, НИИ горн. геомех. и маркшейд. дела – Межотраслевой научный центр ВНИМИ, Сибирский филиал. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2010. – 239 с.
3. Свирко С.В., Ренев А.А. Особенности смещения точек подрабатываемой земной поверхности высокоскоростными очистными забоями при отработке полого-наклонных угольных пластов Кузбасса // Вестник КузГТУ, 2015. №5. С.32-42.
4. Свирко С.В., Быкадоров А.И., Ренев А.А. Закономерности сдвижения отдельных точек подрабатываемой поверхности в условиях Кузбасса // Геомеханика в горном деле: доклады Всероссийской научно-технической конференции с международным участием 2-4 декабря 2015г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2015.
5. Быкадоров А.И., Ларичкин П.М., Свирко С.В., Ренев А.А. Динамика вертикальных и горизонтальных составляющих сдвижений земной поверхности вкrest простираения лав при отработке пологих и наклонных пластов Кузбасса // Вестник КузГТУ, - 2016, №1. – С. 25-33.
6. Свирко С.В., Ренев А.А. Закономерности развития оседаний земной поверхности вкrest простираения лав при отработке пологих и наклонных пластов Кузбасса с высокими скоростями подвигания забоев // Вестник КузГТУ, - 2014, №6. – С. 23-27.
7. Свирко С.В. О влиянии скорости подвигания очистного забоя на процессы сдвижения земной поверхности. // Вестник КузГТУ, - 2016, №3 - С.51-62.
8. Alexey Renev, Sergey Svirko, Alexey Bykadorov, Valery Fedorin «The influence of advancing speed of powered mining stope with single face on earth's surface displacing in Kuzbass» // «Environment, Energy and Earth Sciences (E3S) Web of Conferences», 2017, Volume 15, 01002.

REFERENCES

1. Pravila ohrany sooruzhenij i prirodnyh ob#ektov ot vrednogo vlijanija podzemnyh gornyh razrabotok na ugol'nyh mestorozhdenijah. SPb, VNIMI, 1998, 290 s.
2. Jagunov A.S. Dinamika deformacij v podrabatyvaemom gornom massive / Minjenergo RF, NII gorn.geomeh. i markshejd. dela – Mezhotraslevoj nauchnyj centr VNIMI, Sibirskij filial. – Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2010. – 239 s.
3. Svirko S.V., Renev A.A. Osobennosti smeshhenija toчек podrabatyvaemoj zemnoj poverhnosti vysokorostnymi ochistnymi zabojami pri otrabotke pologo-naklonnyh ugol'nyh plastov Kuzbassa // Vestnik KuzGTU, 2015. №5. S.32-42.
4. Svirko S.V., Bykadorov A.I., Renev A.A. Zakonomernosti sdvizenija otдел'nyh toчек podrabatyvaemoj poverhnosti v uslovijah Kuzbassa // Geomehanika v gornom dele: doklady Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem 2-4 dekabrja 2015g. – Ekaterinburg: IGD UrO RAN, 2015.
5. Bykadorov A.I., Larichkin P.M., Svirko S.V., Renev A.A. Dinamika vertikal'nyh i gorizon-tal'nyh sostavljajushhij sdvizenij zemnoj poverhnosti vkrest prostiraniya lav pri otrabotke pologo i naklonnyh plastov Kuzbassa // Vestnik KuzGTU, - 2016, №1. – S. 25-33.
6. Svirko S.V., Renev A.A. Zakonomernosti razvitija osedanij zemnoj poverhnosti vkrest prostiraniya lav pri otrabotke pologih i naklonnyh plastov Kuzbassa s vysokimi skorostjami podviganiya zaboev // Vestnik KuzGTU, - 2014, №6. – S. 23-27.
7. Svirko S.V. O vlijanii skorosti podviganiya ochistnogo zaboja na processy sdvizenija zemnoj poverhnosti. // Vestnik KuzGTU, - 2016, №3 - S.51-62.
8. Alexey Renev, Sergey Svirko, Alexey Bykadorov, Valery Fedorin «The influence of advancing speed of powered mining stope with single face on earth's surface displacing in Kuzbass» // «Environment, Energy and Earth Sciences (E3S) Web of Conferences», 2017, Volume 15, 01002.

Поступило в редакцию 12.10.2017

Received 12.10.2017