

Научные основы стохастического прогноза деформаций земной поверхности при её подработке

Бугаёва Н. А.*

Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина

Поступила в редакцию 18.06.10, принята к печати 01.10.10.

Аннотация

Предложено усовершенствование методики прогноза сдвижений и деформаций земной поверхности. Вместо детерминированных коэффициентов перегрузки при определении расчетных деформаций предлагается вносить поправки в виде доверительных интервалов. Выполнено стохастическое моделирование процесса сдвижений массива горных пород.

Ключевые слова: мульда сдвижения, деформации земной поверхности, стохастическое моделирование

Введение

Добыча полезных ископаемых подземным способом сопровождается сдвижением земной поверхности, которое может привести к повреждению зданий и сооружений, расположенных в пределах влияния горных работ. Для предотвращения этих повреждений осуществляется прогноз расчетных величин деформаций земной поверхности. На участках, где прогнозные величины деформаций превышают допустимый уровень, принимают горные и конструктивные меры охраны объектов.

В существующей методике прогноза сдвижений и деформаций земной поверхности на первом этапе определяют ожидаемые деформации по общеизвестным формулам [1]:

$$\begin{aligned} \eta &= \eta_{\max} S_z; \\ i &= \eta_{\max} S'_z / L; \\ K &= \eta_{\max} S''_z / L^2; \\ \xi &= \eta_{\max} F_z; \\ \varepsilon &= \eta_{\max} F'_z L, \end{aligned} \tag{1}$$

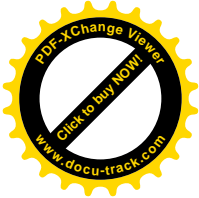
где η , i , K , ξ , ε – соответственно оседание, наклон, кривизна, горизонтальное сдвижение и относительная горизонтальная деформация в точках z расчетной полумульды L ;

S_z , S'_z , S''_z , F_z , F'_z – переменные величины, характеризующие типовое распределение оседаний, наклонов, кривизны, горизонтальных сдвижений и относительных горизонтальных деформаций в точках z расчетной полумульды;

η_{\max} – максимальное оседание земной поверхности.

Сдвигения и деформации, вычисленные по формулам (1), называются ожидаемыми. Однако, при решении вопросов подработки сооружений пользуются расчетными величинами, полученные путем умножения ожидаемых на коэффициенты перегрузки:

* Для переписки: bugayovanatasha@mail.ru



$$\begin{aligned}\eta_p &= \eta n_\eta; \\ i_p &= i n_i; \\ K_p &= K n_K; \\ \xi_p &= \xi n_\xi; \\ \varepsilon_p &= \varepsilon n_\varepsilon.\end{aligned}\tag{2}$$

На рис. 1 приведены распределения ожидаемых наклонов и расчетных, умноженных на коэффициент перегрузки $n_i=1,4$ [2]. При этом были приняты следующие исходные данные: глубина разработки пласта 310 м, длина лавы 290 м, мощность горизонтально залегающего угольного пласта 1,7 м.

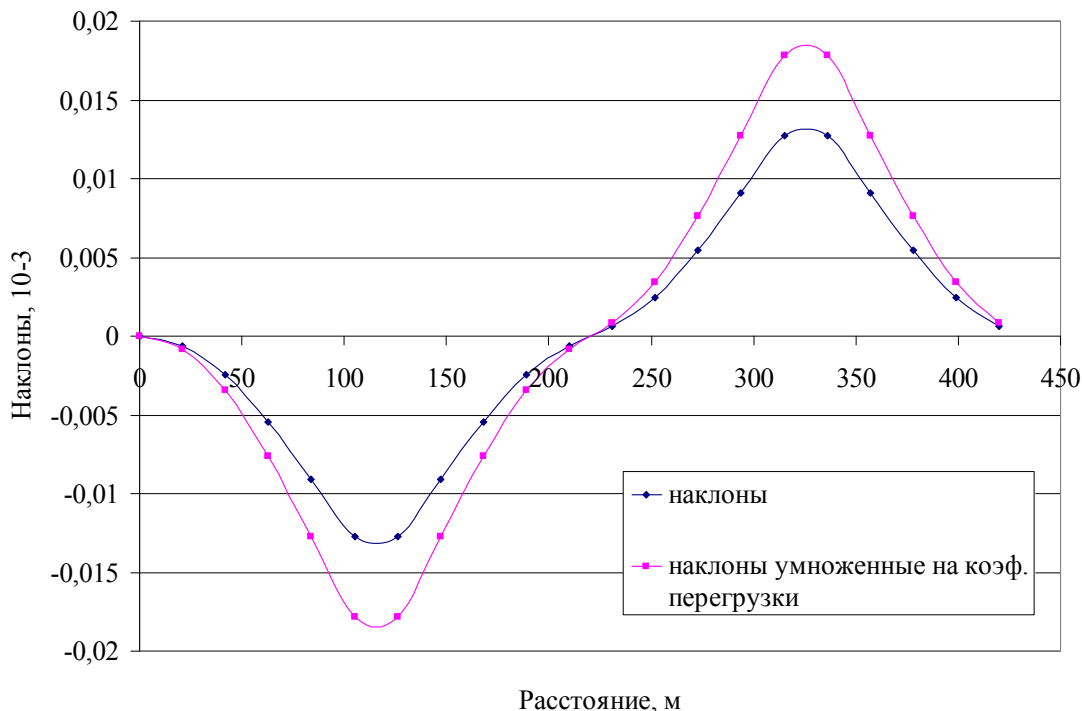


Рис. 1. График ожидаемых и расчетных наклонов вдоль мульды сдвижения

Из рисунка видно, что ожидаемые наклоны имеют значения в пределах $13 \cdot 10^{-3}$ в обе стороны относительно оси, а расчетные наклоны достигают $18 \cdot 10^{-3}$. Разница между максимальными наклонами имеет значение $5 \cdot 10^{-3}$, что в процентном отношении составляет 38% по отношению к максимальному ожидаемому. Однако, в точках со значениями ожидаемых наклонов равными нулю, при умножении их на коэффициент перегрузки расчетные значения остаются равными нулю. Данная проблема дает основание для усовершенствования методики прогноза деформаций земной поверхности.

Так, вместо коэффициентов перегрузки имеет смысл вносить поправки в ожидаемые оседания и деформации в виде доверительных интервалов (рис. 2). Эти доверительные интервалы характеризуют неопределенность, которая порождается вероятным характером разрушения массива горных пород и вызывается естественным разбросом деформационных и прочностных свойств горных пород, погрешностями определения мощности и петрографического состава породных пластов на интервалах между разведывательными буровыми скважинами, и многими другими факторами.

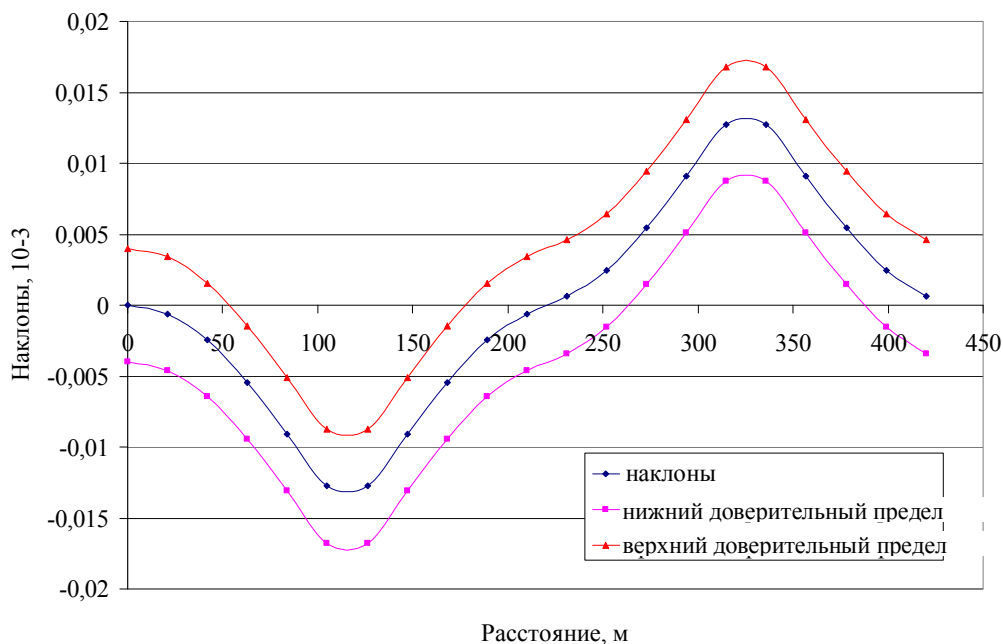
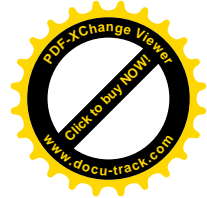


Рис. 2. Ожидаемые наклоны, с указанием доверительных интервалов

Ожидаемые наклоны имеют значения такие же, как на рис. 1 ($13 \cdot 10^{-3}$ в обе стороны относительно оси). Расчетные наклоны в данном случае могут иметь значения, попадающие в доверительный интервал. Максимальные наклоны имеют значения $18 \cdot 10^{-3}$, так же как на рис. 1, однако, в точках со значениями ожидаемых наклонов равными нулю, расчетные значения также могут колебаться в пределах доверительного интервала. В таком случае, могут изменяться не только величины наклонов, но и их знак. Таким образом, после определения доверительного интервала деформаций земной поверхности прогноз дает не кривую линию распределения величин деформации вдоль заданного направления, а полосу возможных величин деформации с разным уровнем вероятности.

Новая методика существенно меняет и совершенствует прогнозирование последствий подработки земной поверхности и повышает надежность и достоверность прогноза, который увеличивает техногенную и экологическую безопасность при ведении горных работ. Поэтому определение законов распределения вероятных поправок к ожидаемым деформациям в мульде сдвижения является важной научной задачей и обуславливает актуальность задачи исследований.

Обоснование объекта и исходных данных. результаты решения задачи

В данной работе исследуется влияние физико-механических свойств на расчет параметров сдвижений, так как разброс данных параметров колеблется в пределах $\pm 100\%$ и их вариация вносит максимальный вклад в случайные отклонения.

Для исследования случайного отклонения оседаний и параметров деформаций земной поверхности используют стохастическое моделирование, которое является наиболее мощным средством для решения подобных задач и построено на основе использования метода конечных элементов. Суть указанного метода заключается в том, что на начальном этапе строится цифровая модель, в которой все параметры являются детерминированными. Это означает, что глубина разработки, длина лавы, геологическая структура массива и их механические показатели являются вполне определенными. При этом параметры детерминированной модели настраиваются так, чтобы оседания и деформации земной поверхности при заданных исходных условиях соответствовали расчетным, определяемым с помощью общепризнанной методики (например, с помощью «Правил ...» [2]).

В качестве исходных данных были приняты результаты, полученные из работы [3]. На рис. 3 представлена плоская модель массива горных пород для выполнения стохастического моделирования.

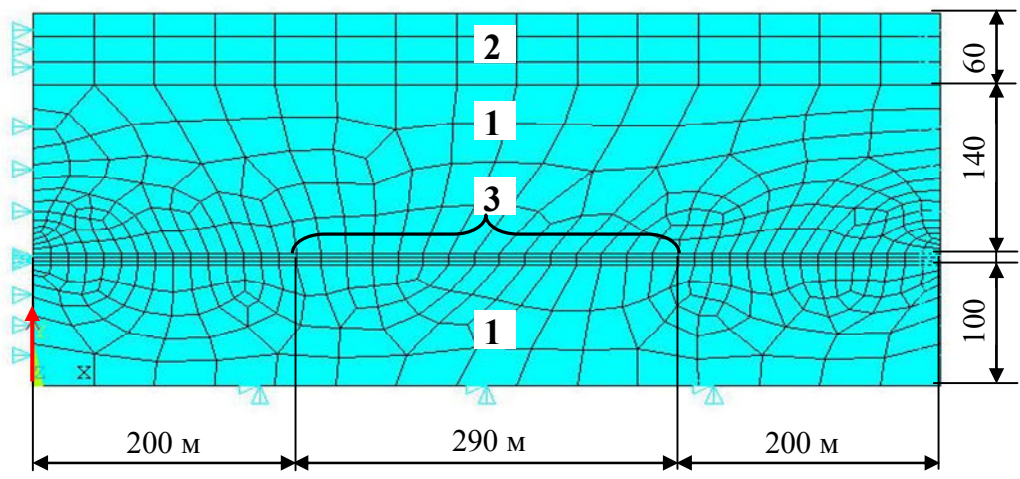
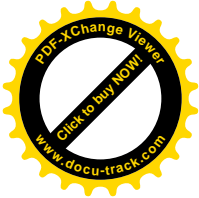


Рис. 3. Плоская модель массива горных пород для выполнения компьютерного моделирования; 1 – коренные породы; 2 – наносы; 3 – положение лавы

При этом были приняты следующие исходные данные. Глубина разработки пласта 310 м, длина лавы 290 м, мощность горизонтально залегающего угольного пласта составляет около 1,7 м, мощность наносов составляет 60 м, породы средней обрушаемости, класса A_1, A_2 , представлены перемежающимися слоями алевритов и песчаников средней прочности и мощности слоев 10-15 м. Плотность пород 2500 кг/м^3 . Способ управления кровлей осуществляется путем её полного обрушения. Угольный пласт обрабатывается по столбовой системе разработки, скорость подвигания лавы 100-150 м/мес. Массив подработан одиночным очистным забоем.

При заданных исходных условиях существует весьма большое число возможных сочетаний модуля упругости, коэффициента Пуассона, сцепления и угла внутреннего трения для каждого из породных слоев, что существенно увеличивает сложность задачи настройки. Существует ограниченное число сочетаний указанных величин, которое обеспечивает максимальное совпадение параметров мульды полученной на модели и с помощью «Правил...». Для нахождения этого оптимального сочетания используется метод латинских квадратов [4].

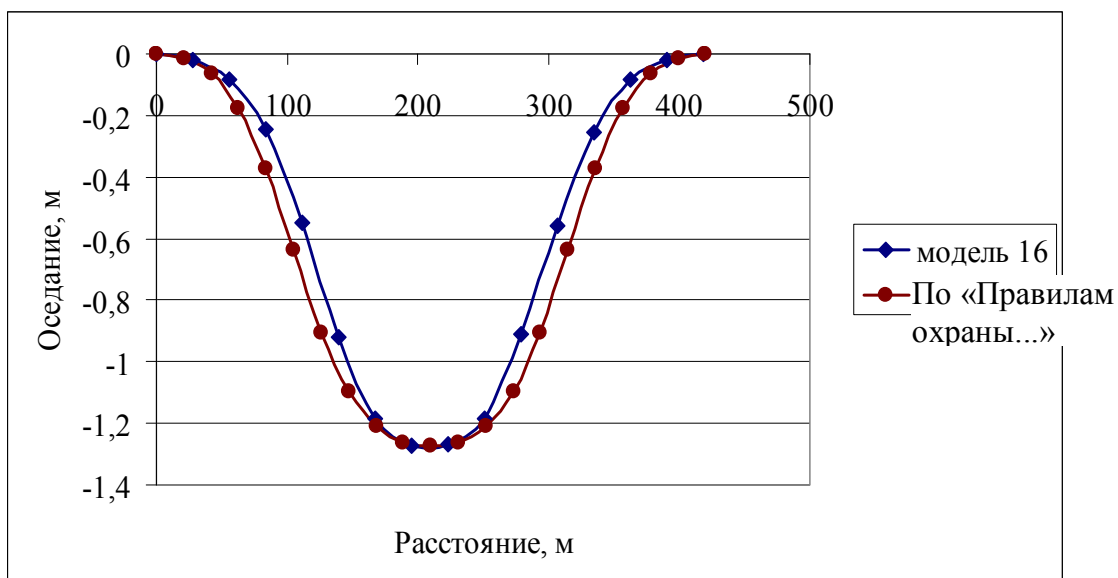


Рис. 4. Мульды сдвижений, построенные для модели №16 по предложенной методике и по «Правилам охраны...»

Для определения достоверности данной модели по «Правилам ...» [2] для таких исходных данных была построена муфта сдвига и в результате сопоставления её с муфтой полученной для модели №16 разница не превышает 11%, что позволяет в дальнейшем использовать данную модель в качестве основы для стохастического моделирования (рис. 4). Из рисунка видно, что длина муфты составляет 420 м, максимальные оседания наблюдаются над центром лавы и достигают значения 1,275 м.

Далее для модели №16 было проведено стохастическое моделирование, которое заключалось в задании случайного диапазона физико-механических свойств для каждого элемента. В результате было построено распределение оседаний земной поверхности на рис. 5. Подчеркнем, что показаны полные оседания поверхности с учетом реликтового сжатия массива горных пород под действием собственного веса.

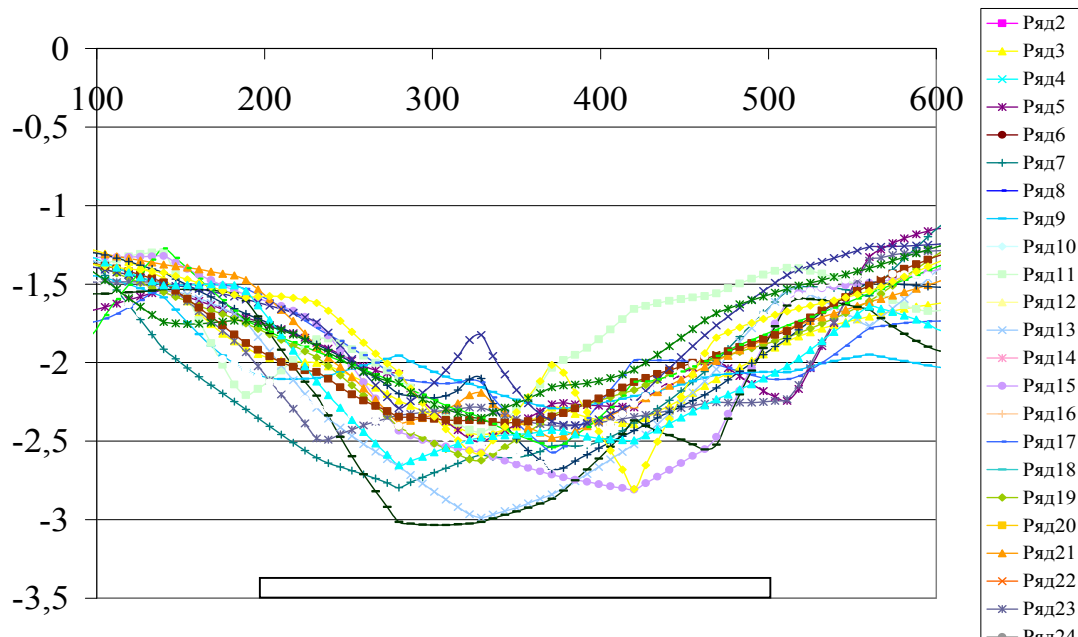


Рис. 5 - Распределение оседаний земной поверхности при случайных выборах исходных данных

Суммарный разброс оседаний на краевых частях составляет 1 м, в то время как над центром лавы он достигает 2,5 м. Таким образом, появляется область ограниченная максимальными и минимальными значениями оседаний. График свидетельствует о том, что в окрестности муфты оседаний наблюдается полоса случайного разброса величин оседаний относительно детерминированного уровня.

Для сопоставления полученных данных с натурными измерениями, приведен пример наблюдений в г. Ясиноватая, выполненные службой БСМР.

Рассматриваемый участок земной поверхности горными работами по другим пластам ранее не подрабатывался. Отработка запасов угля в 3 западной лаве пласта p_1 производится при следующих горно-технических параметрах:

- длина лавы – 230м;
- средняя вынимаемая мощность пласта в лаве – 2,20 м;
- угол падения пласта в лаве – 7°;
- средняя глубина разработки – 1010 м;
- скорость подвигания очистного забоя – 50 м/мес.;
- способ управления кровлей – полное обрушение;
- марка угля – «Г».

Принята конструктивная схема станции как типовая, показанная на выкопировке с плана поверхности, состоящая из 2 профилейных линий (рис. 6).

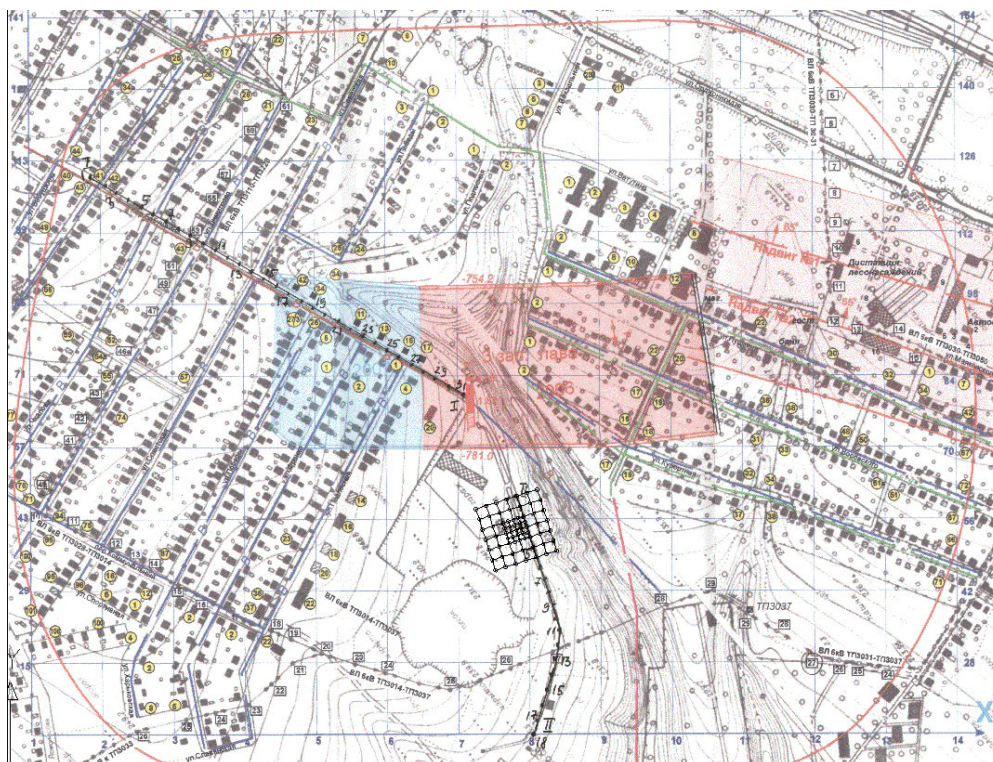
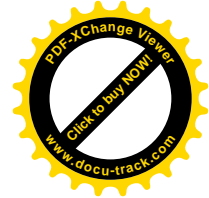


Рис.6 – Выкопировка с плана горных выработок

В результате инструментальных наблюдений были получены следующие диаграммы (рис. 7). Из рисунка видно, что распределение деформаций имеет случайный характер и также образует полосу возможных величин деформаций.

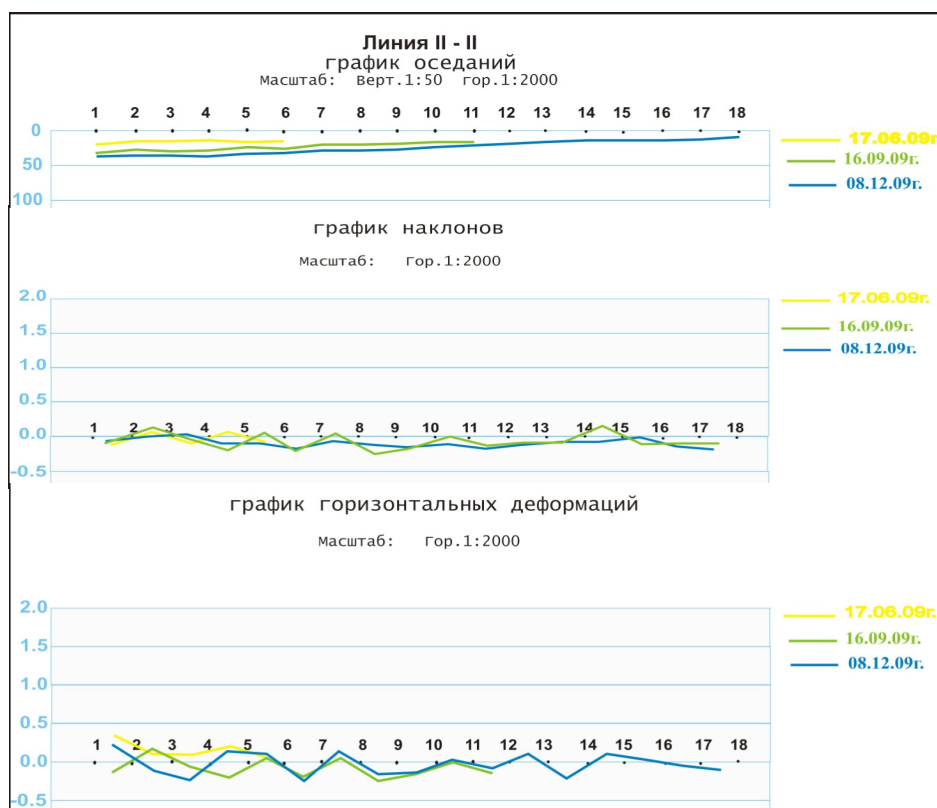
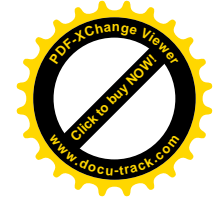


Рис. 7 – Графики распределений оседаний, наклонов и горизонтальных деформаций вдоль профильной линии II-II



Выводы

Точно определить параметры деформационных и прочностных свойств реального массива горных пород невозможно.

Для изучения характера и величины разброса оседаний и деформаций земной поверхности необходимо выполнять стохастическое моделирование. Достоверности результатов этого моделирования определяются рядом факторов и в первую очередь успешной настройкой детерминированной модели. В данной работе для настройки модели использовался метод латинских квадратов.

В результате данной настройки получена модель массива горных пород, которая позволяет определить оседания и деформации земной поверхности, величины которых отличаются от определенных по стандартной методике не более чем на 11%. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о достоверности компьютерного моделирования и позволяют выполнять дальнейшие операции стохастического моделирования.

В ходе выполнения стохастического моделирования, получены данные, свидетельствующие о том, что в окрестности мульды оседаний наблюдается полоса случайного разброса величин оседаний относительно детерминированного уровня.

На основании установленной зависимости предложена усовершенствованная методика определения расчетных параметров деформаций путем введения поправки в ожидаемые величины в виде двустороннего разброса вместо использования одностороннего коэффициента перегрузки. Такой подход повышает надежность определения величин деформаций земной поверхности при ее подработке длинными очистными забоями.

Библиографический список

1. Сдвигание горных пород и земной поверхности при подземных разработках/ Под общей ред. проф., д-ра техн. наук В.А. Букринского и канд. техн. наук Г.В. Орлова. М. Недра - 1984 – С. 39-44.
2. Правила подработки зданий, сооружений и природных объектов при добыче угля подземным способом – Киев: Минтопэнерго Украины, 2004 – С. 89.
3. Бугаєва Н.А., Назимко В.В. Особенности распределения стохастических отклонений оседаний земной поверхности при её подработке одиночной лавой. ПРОБЛЕМИ ГІРСЬКОГО ТИСКУ. Збірник наукових праць №16/Під заг. ред. О.А. Мінаєва - Донецьк, ДонНТУ, 2008 – С. 194-237.
4. Протодюжонов М.М., Тедер Р.И. Методика рационального планирования экспериментов. М., «Наука», 1970 – 76с.

© Бугаєва Н. А., 2011.

Аннотация

Запропоноване вдосконалення методики прогнозу зрушень і деформацій земної поверхні. Замість детермінованих коефіцієнтів перевантаження при визначенні розрахункових деформацій пропонується вносити виправлення у вигляді довірчих інтервалів. Виконане стохастичне моделювання процесу зрушень масиву гірських порід.

Ключевые слова: мульда зрушення, деформації земної. поверхні, стохастичне моделювання

Abstract

Improvement of a technique of the forecast subsidence and deformations of a terrestrial surface. Instead of the determined factors of an overload at definition of settlement deformations it is offered to make amendments in the form of confidential intervals. Stochastic modelling of process subsidence a file of rocks.

Keywords: trough, surface strain, stochastic modeling