

УДК 622.834.1

**Н.А. Бугаёва, Н.Н. Грищенко, И.В. Назимко,  
А.И. Прокопенко, Д.Н. Сотников, С.М. Яковенко,  
А.В. Нечипорук, В.В. Назимко**  
(ДонНТУ, г.Донецк)  
*bugayovanatasha@mail.ru*

## **УСТАНОВЛЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ ОСЕДАНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

*Описано проект спостережної станції й виконані натурні виміри осідань земної поверхні. Отримано підтвердження встановленої закономірності зміни розкиду осідань земної поверхні в межах мульди зрушень.*

*Спостережна станція, натурні виміри, мульда зрушення*

*Actual measurements of subsidence have been described during surface over mining with a longwall. Subsidence variance distribution proved theoretical distribution that was derived before.*

*Observation station, actual measurements, trough subsidence*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Существующая технология подземной разработки угольных пластов в подавляющем большинстве случаев вызывает сдвигение массива горных пород и земной поверхности над выработанным пространством. При этом сдвигения и деформации земной поверхности способны нанести серьезный ущерб зданиям, сооружениям, инженерным коммуникациям и природным объектам в мульде сдвигения, вплоть до их полного разрушения и выхода из строя. Поэтому отработка запасов угля под застроенными территориями производится по проектам подработки, использующим утвержденную методику прогноза сдвижений и деформаций земной поверхности [1]. Аналогичные методики прогноза используются и за рубежом [2-4].

Отличительной особенностью всех этих методик является то, что они ориентированы на детерминированный характер процесса сдвижений, используют некоторые усредненные функции влияния, типовые кривые оседаний. Учитывая сложный и во многом стохастический характер процесса сдвижения, авторы существующей методики [1] рекомендуют при определении условий рациональной подработки объектов пользоваться не прогнозными, а расчетными значениями сдвижений и деформаций земной поверхности. Для этого прогнозные значения ожидаемых оседаний и деформаций умножают на коэффициенты перегрузки:

$$\left. \begin{aligned} \eta_p &= \eta \cdot n_\eta; \\ i_p &= i \cdot n_i; \\ K_p &= K \cdot n_K; \\ \xi_p &= \xi \cdot n_\xi; \\ \varepsilon_p &= \varepsilon \cdot n_\varepsilon, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $\eta$ ,  $i$ ,  $K$ ,  $\xi$ ,  $\varepsilon$  – соответственно ожидаемые оседание, наклон, кривизна, горизонтальное сдвижение и относительная горизонтальная деформация в точке мульды сдвижения;  $n_\eta$ ,  $n_i$ ,  $n_K$ ,  $n_\xi$ ,  $n_\varepsilon$  – коэффициенты перегрузки соответственно для оседаний, наклонов, кривизны, горизонтальных сдвижений и относительных горизонтальных деформаций.

Коэффициенты перегрузки в скрытом виде учитывают разброс значений сдвижений и деформаций земной поверхности, обусловленный стохастическим характером процесса сдвижения. Введение этих коэффициентов было обосновано в работе [5].

Значения коэффициентов перегрузки устанавливают в зависимости от погрешности определения ожидаемых сдвижений и деформаций:

$$\left. \begin{aligned} n_{\eta} &= 1 + m_{\eta} / \eta; \\ n_i &= 1 + m_i / i; \\ n_K &= 1 + m_K / K; \\ n_{\xi} &= 1 + m_{\xi} / \xi; \\ n_{\varepsilon} &= 1 + m_{\varepsilon} / \varepsilon, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $m_{\eta}$ ,  $m_i$ ,  $m_K$ ,  $m_{\xi}$ ,  $m_{\varepsilon}$  – средние квадратические погрешности определения соответственно оседаний, наклонов, кривизны, горизонтальных сдвижений и относительных горизонтальных деформаций.

Анализ применения коэффициентов перегрузки в действующей методике показывает, что расчетные значения сдвижений и деформаций получают простым масштабированием их ожидаемых значений, а в точках с нулевыми значениями ожидаемых величин расчетные значения остаются равными нулю.

Кроме того, из формул (2) вытекает, что при делении средней квадратической ошибки на величину деформации, равную нулю, возникают разрывы функции (позиции 1-3 на кривых 2, 3 на рис. 1 и рис. 2).

На рис. 1 из работы [5] приведены графики погрешностей определения величин  $S_z'$  типовой кривой наклонов. В данном случае разрыв при делении на нуль возникает в средней части. На краевых частях значения наклонов асимптотически приближаются к нулю, а значения относительных погрешностей уходят в бесконечность.

На рис. 2 показаны графики погрешностей определения величин  $S_z''$  типовой кривой кривизны [5]. Так как распределение кривизны пересекает три раза нулевую ось, получается три разрыва в графиках относительных погрешностей и на краевых частях их значения также стремятся к бесконечности.

Из рис. 3 следует, что в средней части графика абсолютные и относительные погрешности определения оседаний равны нулю [5]. Но эти погрешности в принципе не могут быть нулевыми поскольку типовая кривая оседаний определялась по экспериментальным данным.

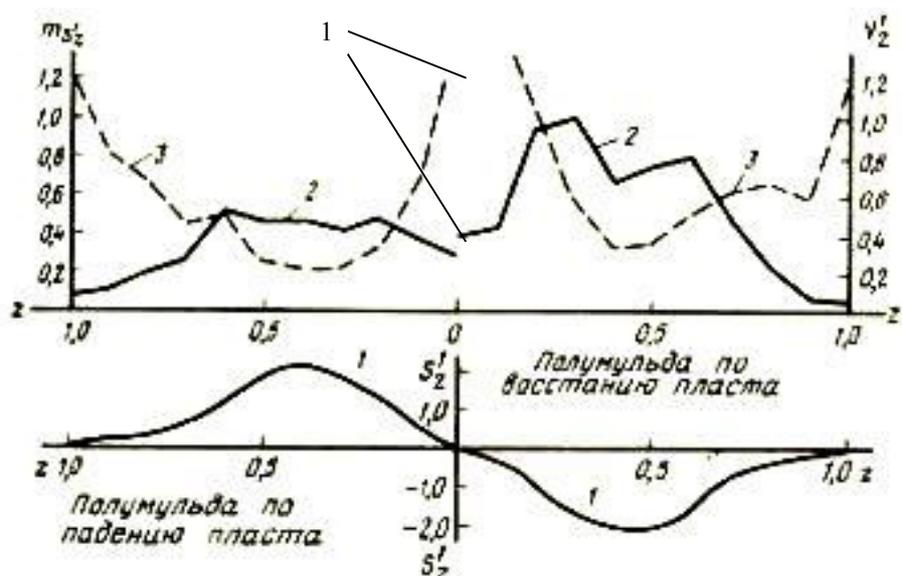


Рис. 1 - Погрешности определения величин  $S_z'$  типовой кривой наклонов при  $h \geq 1,0$ : 1 – типовая кривая наклонов; 2 – погрешность  $m_{S_z'}$ ; 3 – относительная погрешность  $V_z'$

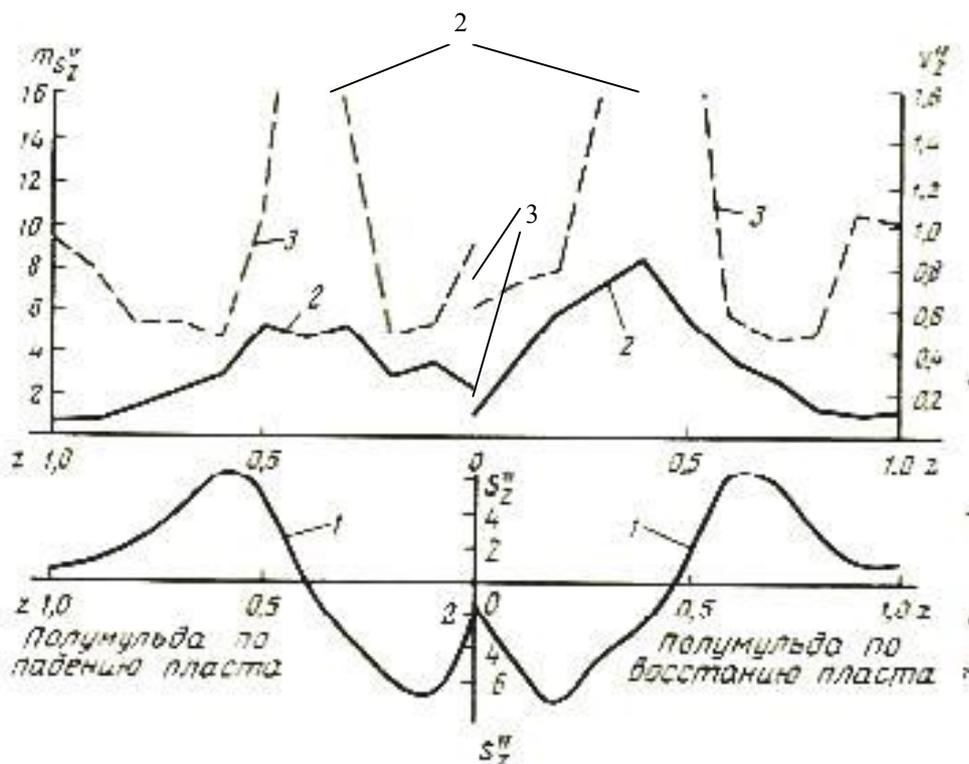


Рис. 2 - Погрешности определения величин  $S_z''$  типовой кривой кривизны при  $h \geq 1,0$ : 1 – типовая кривая кривизны; 2 – погрешность  $m_{S_z''}$ ; 3 – относительная погрешность  $V_z''$

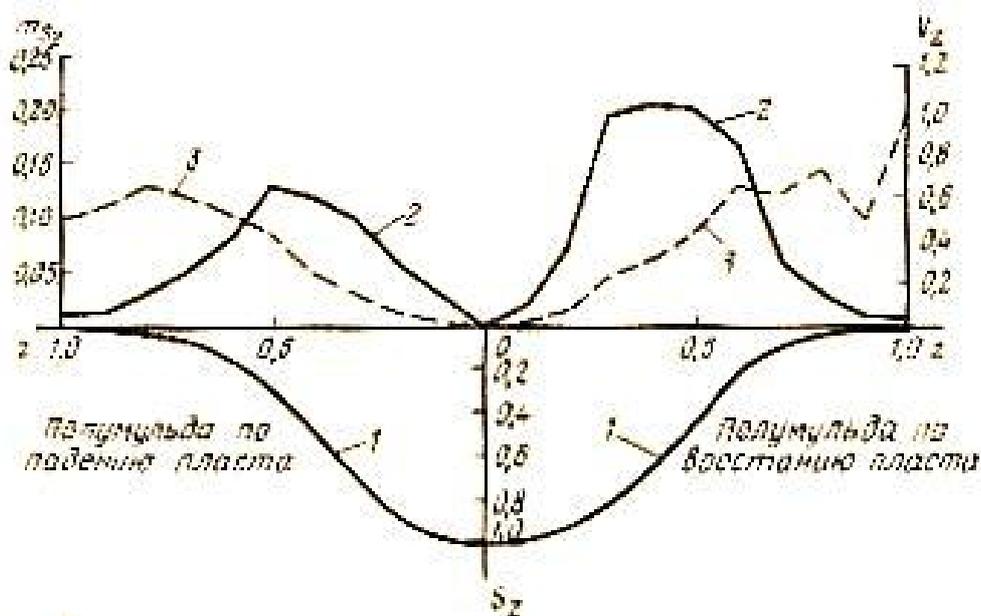


Рис. 3 – Погрешности определения ординат типовой кривой оседания при  $h \geq 1$ : 1 – типовая кривая оседания; 2 – погрешность  $m_{s_z}$ ; 3 – относительная погрешность  $V_z$

Отмеченные недостатки определения коэффициентов перегрузки в существующей методике свидетельствуют о том, что учет погрешностей определения сдвижений и деформаций земной поверхности в мульде сдвижения остается достаточно актуальной задачей, решение которой способствует повышению обоснованности и точности прогноза последствий подработки земной поверхности подземными горными работами.

В работах [6, 7] установлено, что при расчете оседаний и деформаций земной поверхности возникают существенные погрешности (до 30% и более). Было отмечено, что коэффициент вариации для наклонов и особенно для кривизны достигает недопустимых пределов (100% и более). Указанные данные получены на математических моделях, построенных на основании численных методов. Экспериментальная проверка этих моделей инструментальными наблюдениями является целью данной работы.

Результаты измерений, выполненных на маркшейдерских наблюдательных станциях, часто свидетельствуют о том, что форма экспериментальной мульды сдвижений значительно отличается от формы кривой полученной расчетным путем. При

этом отклонения носят случайный характер и не связаны с повреждениями наблюдательных станций или систематическими погрешностями.

В настоящей работе приведены результаты натуральных инструментальных наблюдений, проведенных в шахтоуправлении им. Кирова по 1-й восточной лаве пласта  $h_{10}^B$ .

## ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТА И ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Шахтоуправление им. Кирова отрабатывает пласт  $h_{10}^B$  (рис. 4), вынимаемая мощность которого составляет 1,2-1,25 м. Угол падения пласта составляет 9-10°, мощность наносов – 5 м. Уголь марки Т. Длина 1-й восточной лавы 220 м. Лава отрабатывается на глубине 140 м по сплошной системе разработки и примыкает к ранее выработанному пространству восточной коренной лавы, отрабатанной в 1997-1999 годах. Управление кровлей в лаве осуществляется полным обрушением с использованием механизированной крепи КД-90. Разрушение угля производится комбайном 1К-101, транспорт угля из лавы – конвейером СП-26.

На вентиляционном и конвейерном штреках позади лавы с помощью отбойных молотков производится верхняя подрывка пород кровли. Сечение в свету вентиляционного штрека составляет 10,4 м<sup>2</sup>. Крепь металлическая арочная податливая трехзвенная типа КМП-А3-11,2 из спецпрофиля СВП27, устанавливаются через 0,8 м. Затяжка между рамами арочной крепи деревянная.

Поскольку в основной кровле пласта залегает пористый газоносный песчаник, осуществляется дегазация кровли и почвы кустами из трех скважин, две из которых бурят в кровлю и одну в почву. При газоносности пласта 15-25 м<sup>3</sup>/т это позволяет обеспечить безопасную отработку пласта с темпами подвигания лавы порядка 60-70 м/мес. Диаметр дегазационных скважин 73 мм. Скважины бурятся за лавой станком СБГ.

Площадь сечения в свету конвейерного штрека составляет 12,8 м<sup>2</sup>. Крепь металлическая арочная податливая трехзвенная типа КМП-А3\_13,8, устанавливается через 0,5 м. В выработке

уложен рельсовый путь с шириной колеи 600 мм и ленточный конвейер 1Л-80.

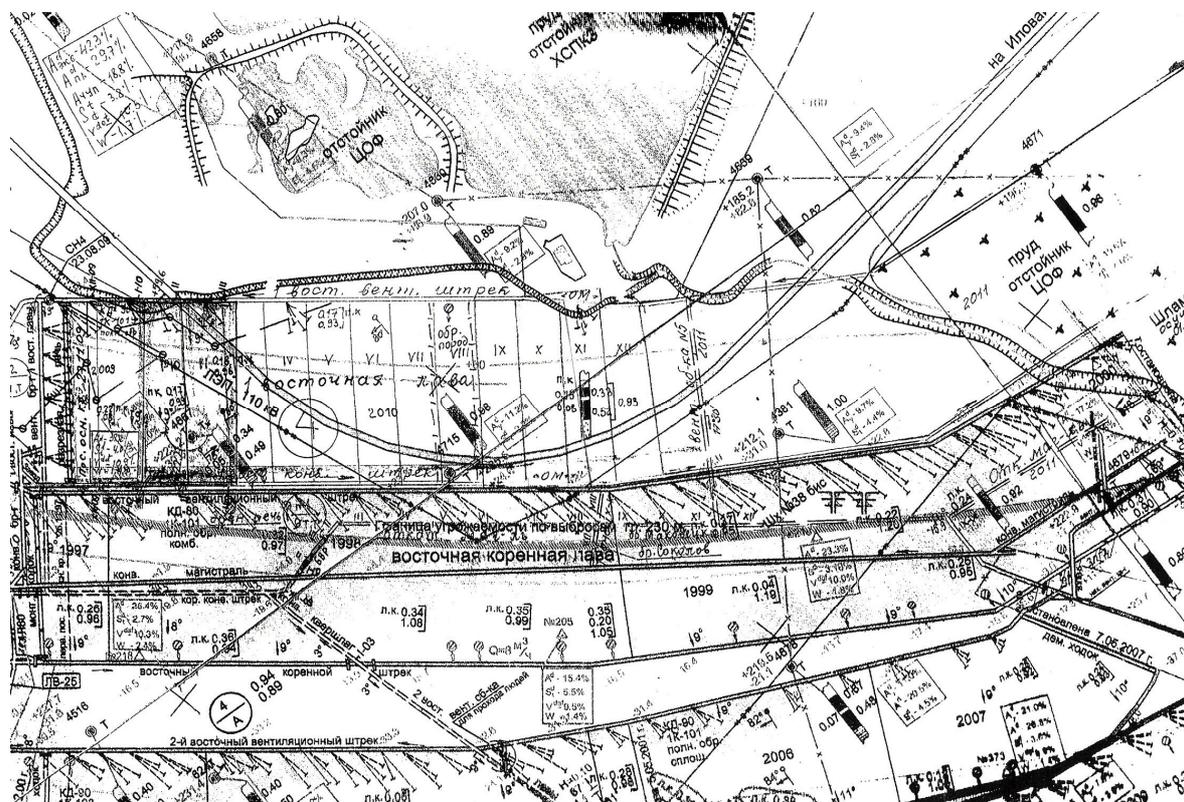


Рис. 4 – Фрагмент плана горных выработок по пласту  $h_{10}^B$

Оба штрека охраняются бутовой полосой, выкладываемой из пород, полученных при подрывке кровли пласта. Полоса сооружается скреперной установкой ЗУ-1. Ширина полосы у вентиляционного штрека 12,2 м, у конвейерного штрека – 21,2 м. Выработка усиливается деревянными ремонтинами позади лавы, которые дают возможность компенсировать интенсивные смещения пород кровли в зоне активных сдвижений.

## РАСЧЕТ ОЖИДАЕМЫХ СДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Перед выполнением натуральных инструментальных измерений был произведен расчет ожидаемых сдвижений земной поверхности для описанных выше условий подработки. Расчет был выполнен по действующей методике [1].

Зона влияния горных работ определяется по граничным углам на вертикальных разрезах вкрест простирания и по простиранию пласта. Значения граничных углов определяются по «Правилам подработки...» [1]. Граничные углы составили: по падению  $\beta_0 = 62^\circ$ ; по восстанию  $\gamma_0 = 70^\circ$ ; по простиранию  $\delta_0 = 70^\circ$ , в наносах  $\varphi_0 = 55^\circ$ . Углы полных сдвижений составили: у нижней границы выработки  $\psi_1 = 55^\circ$ ; у верхней границы выработки  $\psi_2 = 58^\circ$ ; у границы выработки по простиранию  $\psi_3 = 55^\circ$ . Угол максимального оседания составил  $\theta = 82^\circ$ .

Максимальное оседание земной поверхности земной поверхности  $\eta_m$  составило 945 мм.

Размеры полумульды составили: по падению  $L_1 = 159,628$  м; по восстанию  $L_2 = 154,543$  м; по простиранию  $L_3 = 150,666$  м.

По результатам расчета построен график оседаний земной поверхности (рис. 5).

Результаты расчета позволили выбрать параметры наблюдательной станции, составить график наблюдений.

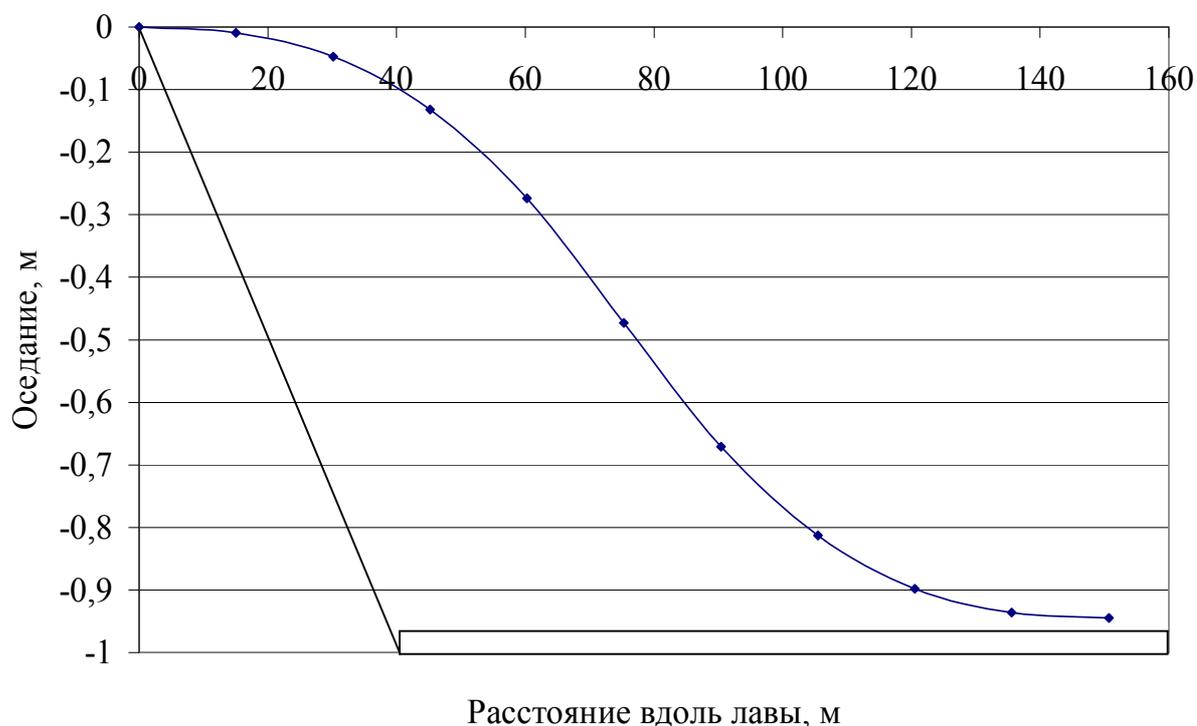


Рис. 5 – График расчетных оседаний земной поверхности

## ПРОЕКТ КОМПЛЕКСНОЙ НАБЛЮДАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ

Целью инструментальных измерений на наблюдательной станции является изучение закономерностей процесса сдвижений земной поверхности при ее подработке длинным очистным забоем 1-й восточной лавы с учетом стохастичности процесса сдвижений, обусловленной случайным разбросом физико-механических свойств коренных пород и наносов.

Комплексная наблюдательная станция состоит из трех профильных линий и одной площадной наблюдательной станции. Одна профильная линия расположена под углом, близким к  $30^\circ$ , к главному сечению мульды вкрест простирания пласта, параллельному линии очистного забоя (рис. 6). Вторая профильная линия реперов располагается перпендикулярно к первой линии. Третья профильная линия расположена вдоль трассы Донецк – Ростов и направлена в противоположную сторону от первой профильной линии. Площадная наблюдательная станция расположена вдоль первой профильной линии в области мульды, где ожидаются максимальные наклоны, а также горизонтальные сдвигения земной поверхности.

Площадная наблюдательная станция состоит из 29 реперов. Первая профильная линия содержит 9 реперов (плюс 6 реперов из площадной станции). Вторая профильная линия состоит из 6 реперов, причем один репер является общим для обеих профильных линий. Третья профильная линия содержит 10 реперов, один из которых является общим с первой линией (рис. 7).

Опорные реперы были заложены вне зоны влияния подработки. Высотная привязка опорных реперов осуществлялась к пунктам высотной государственной геодезической сети.

Основными требованиями к конструкциям реперов наблюдательной станции являлись: неподверженность их сезонным промерзаниям и пучению грунтов, простота конструкции, удобство в работе. Реперы были изготовлены из металлических стержней длиной 1,0 м диаметром 20 мм. Верхние

концы стержней обтачивались до полусферы, в центре высверливалось углубление диаметром 1-2 мм и глубиной 5-7 мм (рис. 8).

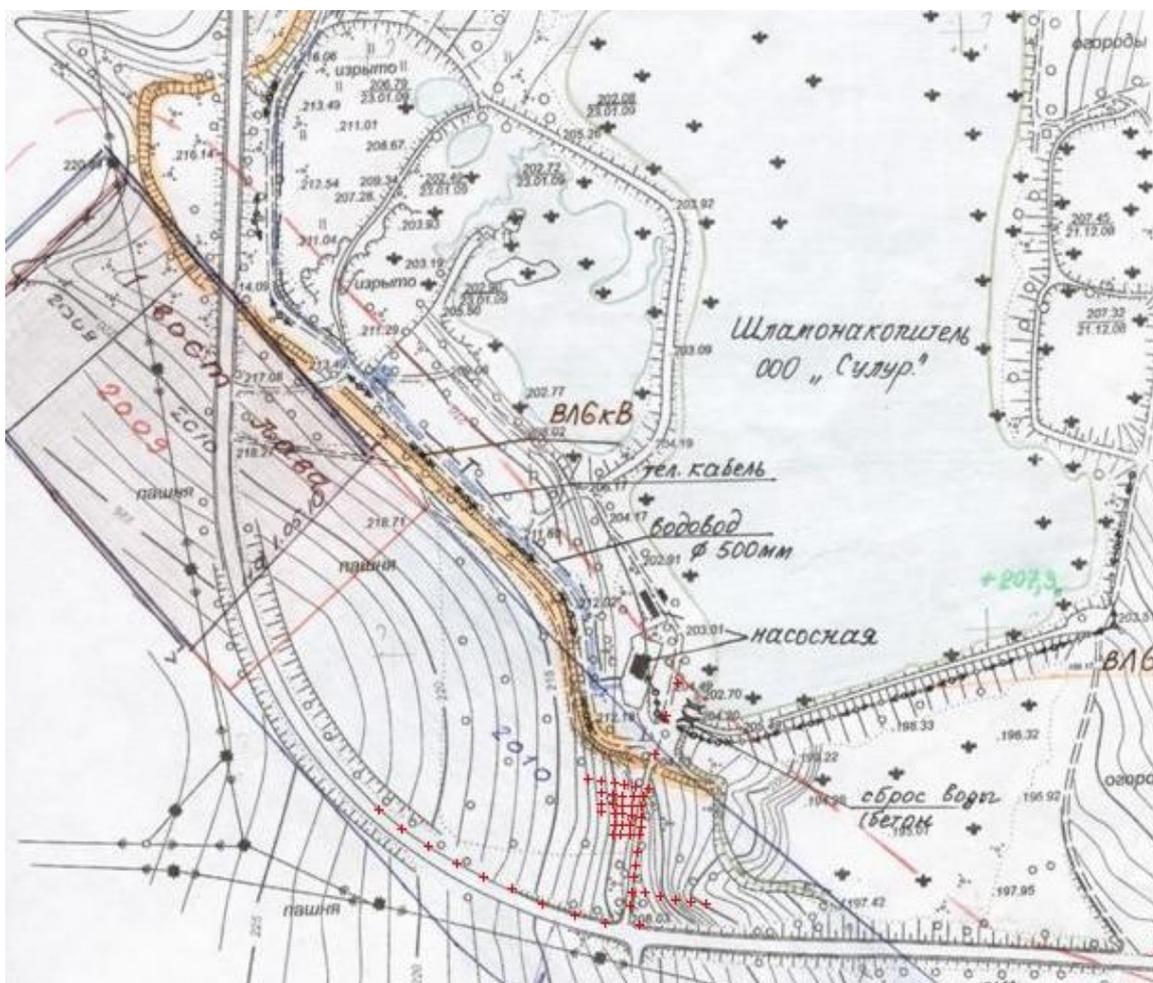


Рис. 6 – Выкопировка с плана поверхности со схемой расположения реперов

Закладка реперов и начальные инструментальные наблюдения на них были проведены до начала проявления влияния очистных работ на земной поверхности. Начальное положение реперов определялось из двух серий наблюдений. Последующие серии инструментальных наблюдений проводились каждые две недели с начала подработки наблюдательной станции до настоящего времени.

Расстояния между реперами измерялись стальными компарированными 50-метровыми рулетками с помощью

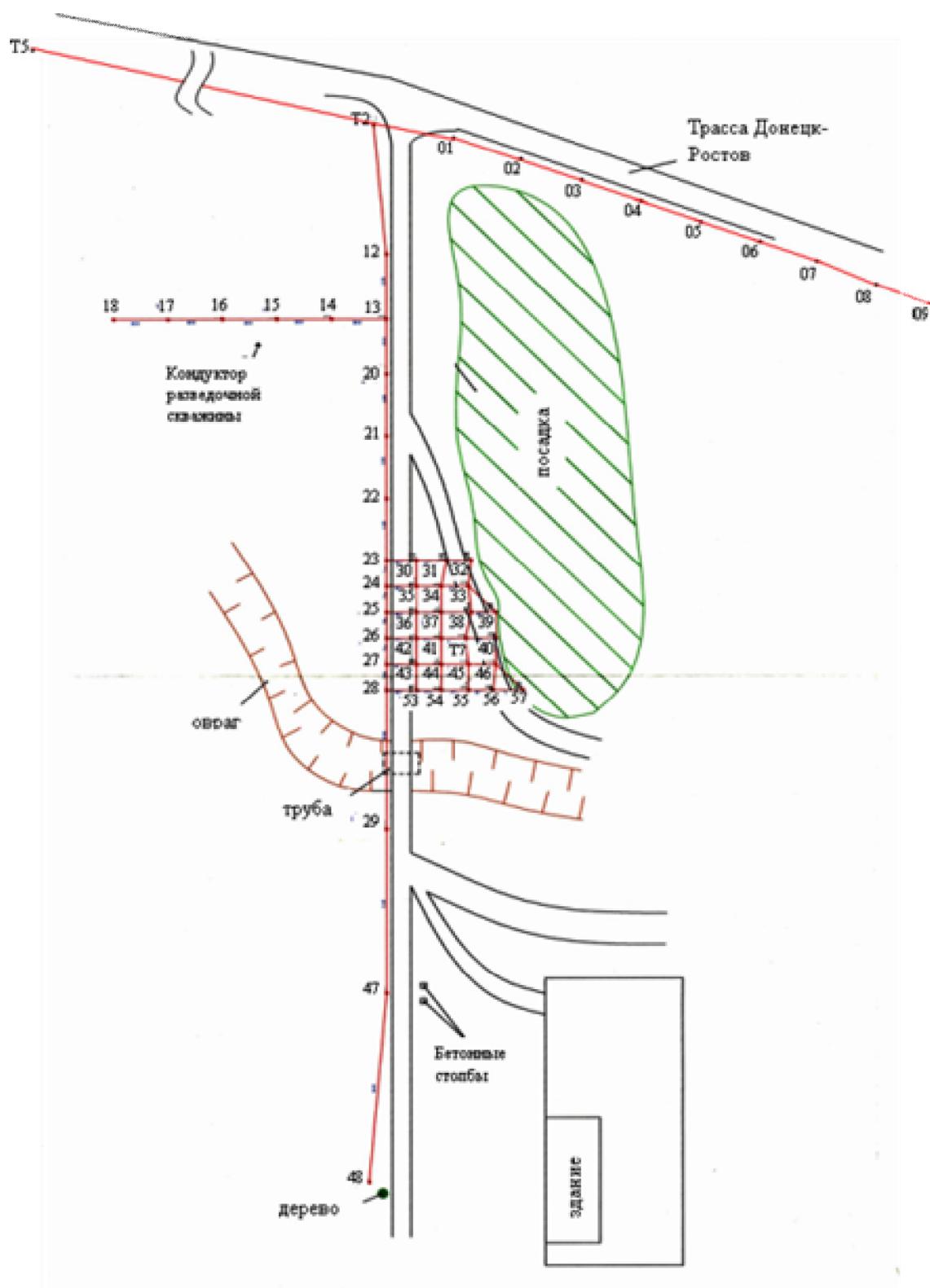


Рис. 7 – Схема наблюдательной станции

динамометра с постоянным натяжением 10 кг. При измерении расстояний между реперами брались по три отсчета по рулетке, со смещением каждый раз на 1-2 см начального отсчета. Расстояния между реперами измерялись в прямом и обратном направлениях. Расхождение в расстояниях между крайними реперами в прямом и обратном ходах не превышает 1:10000 длины хода и 1 мм в длине интервала.

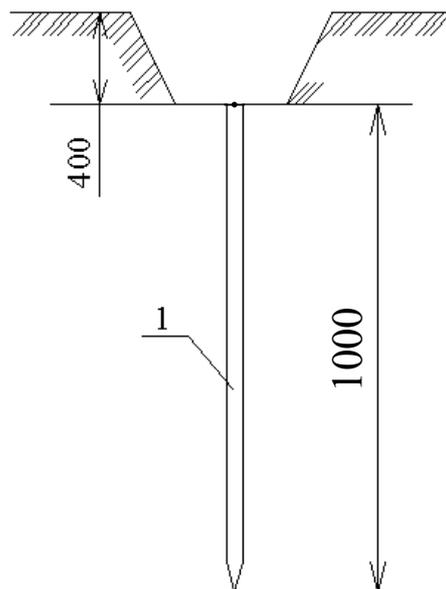


Рис. 8 – Чертеж репера:  
1 – металлический стержень

Для нивелирования использовался нивелир Ni-050. Технические характеристики нивелира: средняя квадратическая ошибка измерения превышений 5,0 мм на 1 км двойного хода; изображение прямое; увеличение зрительной трубы – 18<sup>x</sup>; диапазон работы компенсатора  $\pm 15'$ ; точность установки компенсатора  $\pm 0,6''$ .

Дополнительно определение плановых координат реперов и их высотных отметок осуществлялось электронным тахеометром Sokkia Set 530RK3. Технические характеристики тахеометра: точность угловых измерений 5"; увеличение трубы 30<sup>x</sup>; компенсатор двухосевой; диапазон работы компенсатора  $\pm 3'$ ; дальность измерений на 1 призму – 5000 м; дальность измерений без отражателя – 150 м; объем памяти - 10000 точек. Тахеометр

обеспечивает измерение координат с погрешностью 0,3 мм на базе 200 м.

С учетом полного комплекса факторов суммарная погрешность измерений будет находиться в пределах 1 мм, что гарантирует выявление особенностей сдвижений с вероятностью не менее 90%.

## РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

На рис. 9 представлен график распределений оседаний земной поверхности вдоль первой профильной линии для пяти серий измерений. Из рисунка видно, что данная профильная линия имеет длину равную 214,760 м. Начало профильной линии приходится на репер №48, а конец на репер №Т2. Центр лавы находится на уровне реперов №№12, 13, 20.

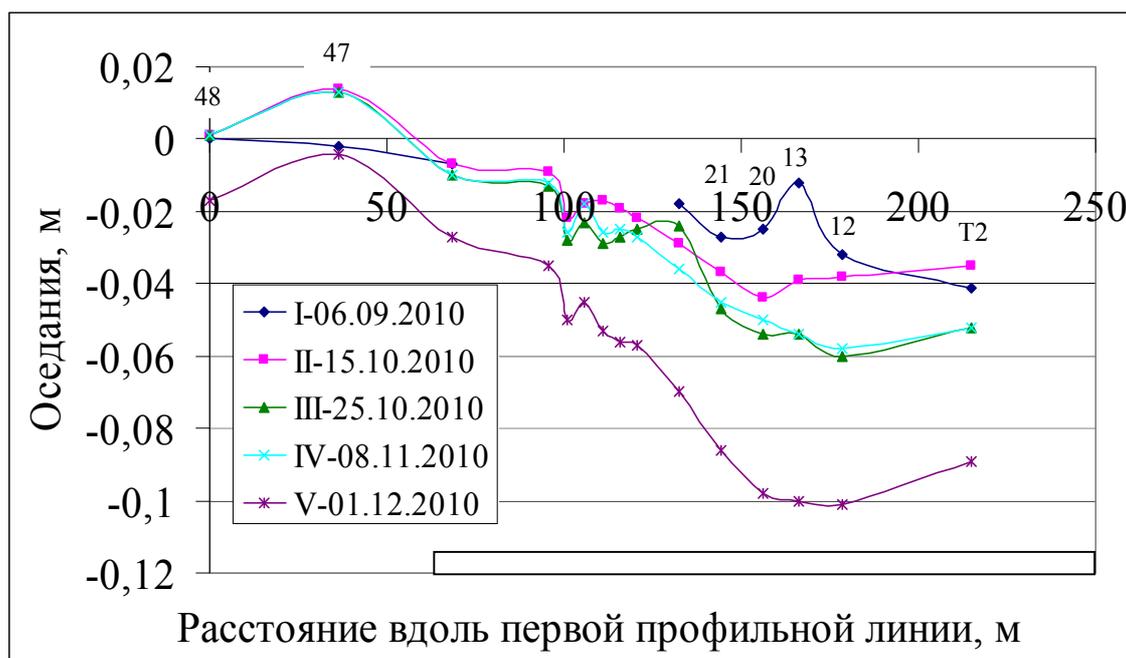


Рис. 9 – График оседаний земной поверхности для пяти серий измерений

Оседания определялись как разница между высотными отметками реперов из каждой серии наблюдений и начальными отметками этих реперов. Начальные отметки реперов были определены как среднее арифметическое из двух серий

наблюдений, выполненных до начала подработки наблюдательной станции.

Анализ результатов выполненных измерений позволил сделать следующие выводы.

На текущий момент максимальная величина оседаний наблюдается над средней частью выработанного пространства и составляет 0,101 мм. На переходе от выработанного пространства к массиву амплитуда разброса случайных отклонений уменьшается до 0,018 м. На уровне репера №47 наблюдается поднятие почвы, что характерно для динамической мульды на границе выработанного пространства.

На рис. 10 представлен график оседаний земной поверхности, на котором в одну из кривых введена поправка за систематическую ошибку измерений относительно опорного репера. Это необходимо было для дальнейшего построения линий тренда отдельно для каждой серии измерений.

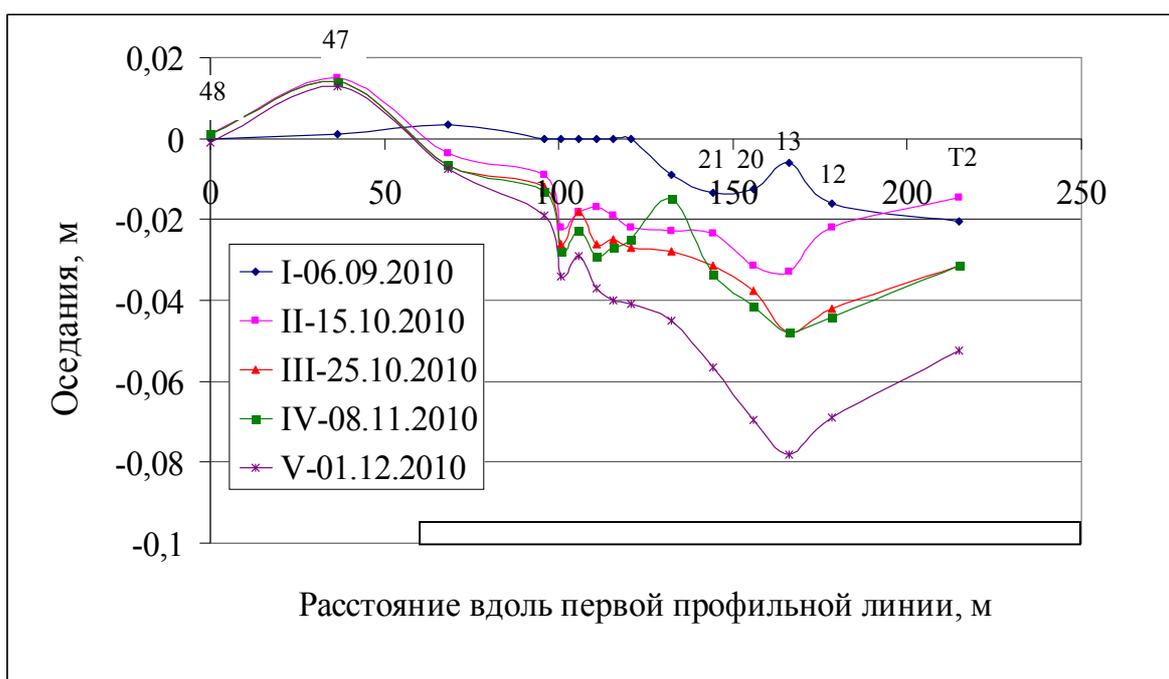


Рис.10 - График оседаний земной поверхности для расчета линий тренда по каждой серии измерений

На рис.11-15 показано построение линий тренда по значениям оседаний для каждой серии измерений. Величина

достоверности аппроксимации колеблется в пределах 0,85-0,97, что свидетельствует о правильности построения линии тренда.

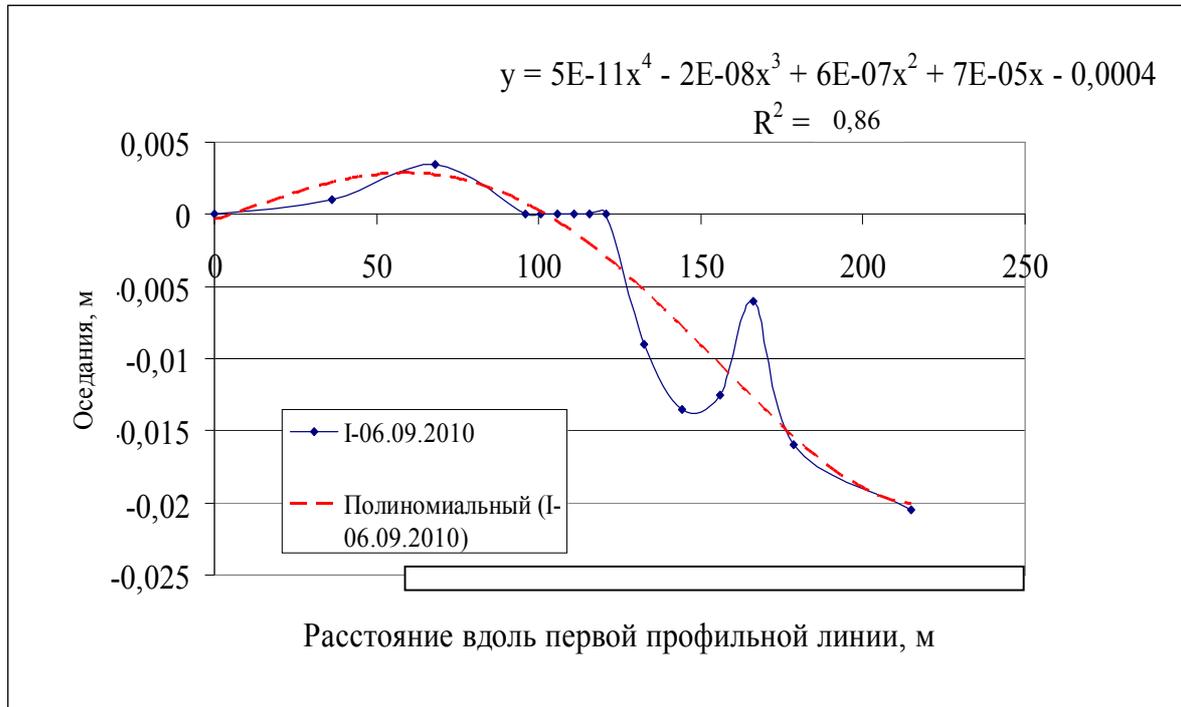


Рис. 11 – График оседаний и полиномиальная кривая для первой серии измерений

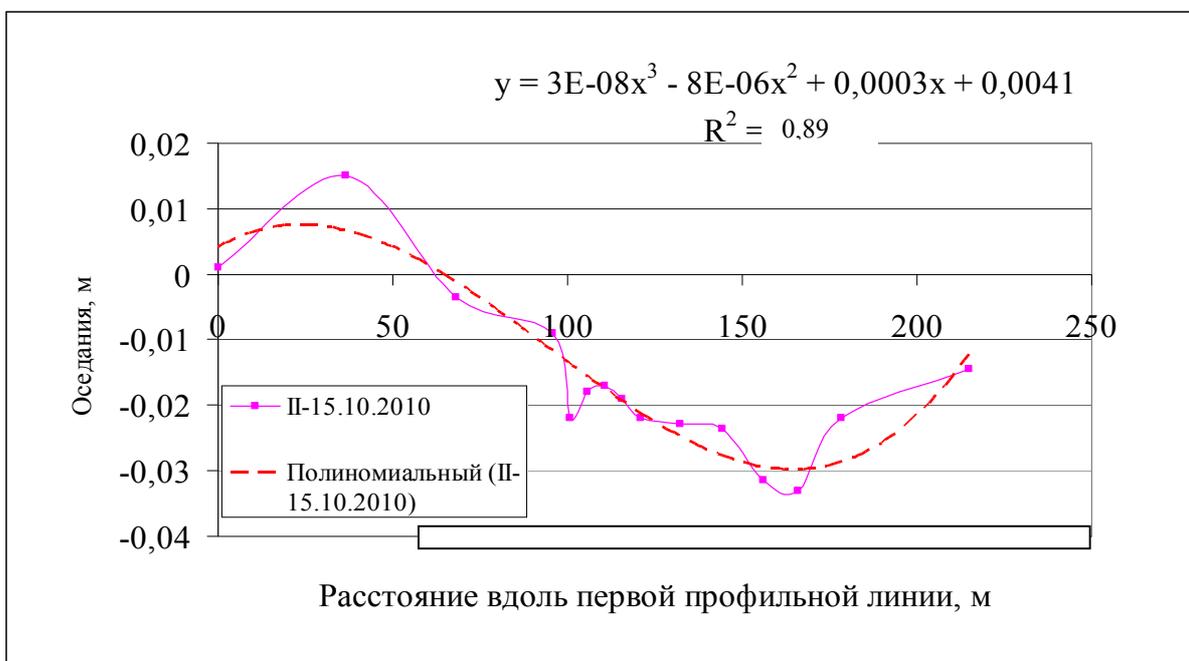


Рис. 12 – Распределение оседаний для второй серии наблюдений с нанесением линии тренда

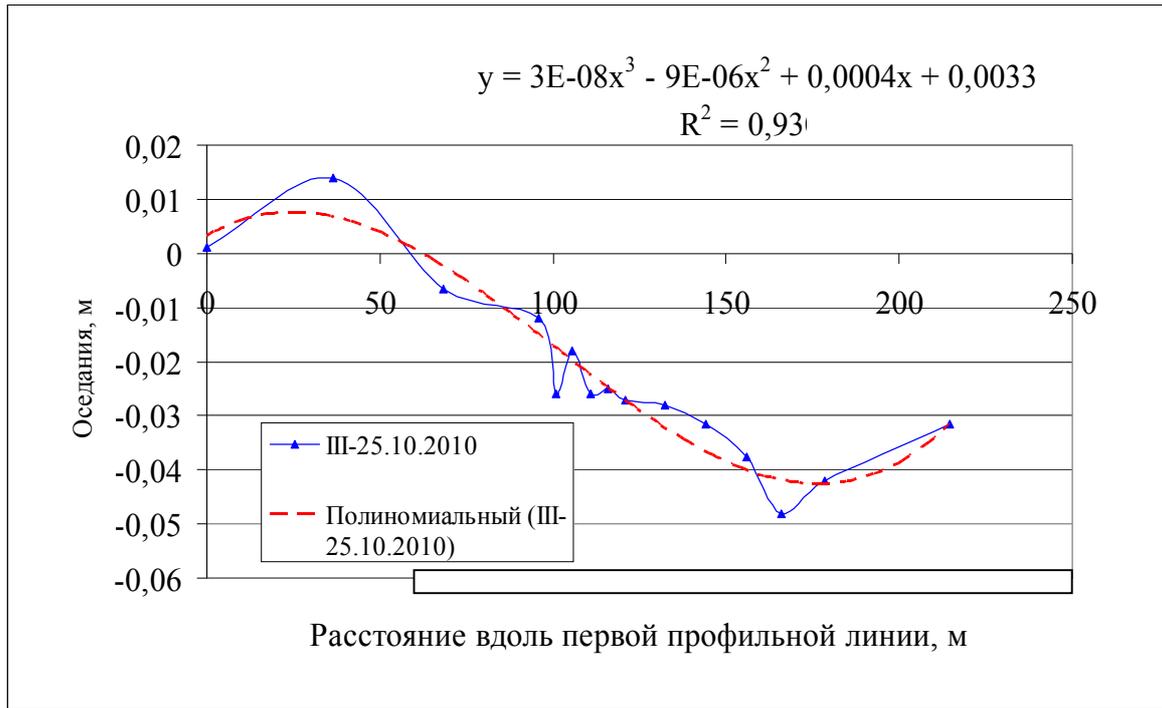


Рис. 13 – График распределения оседаний для третьей серии наблюдений

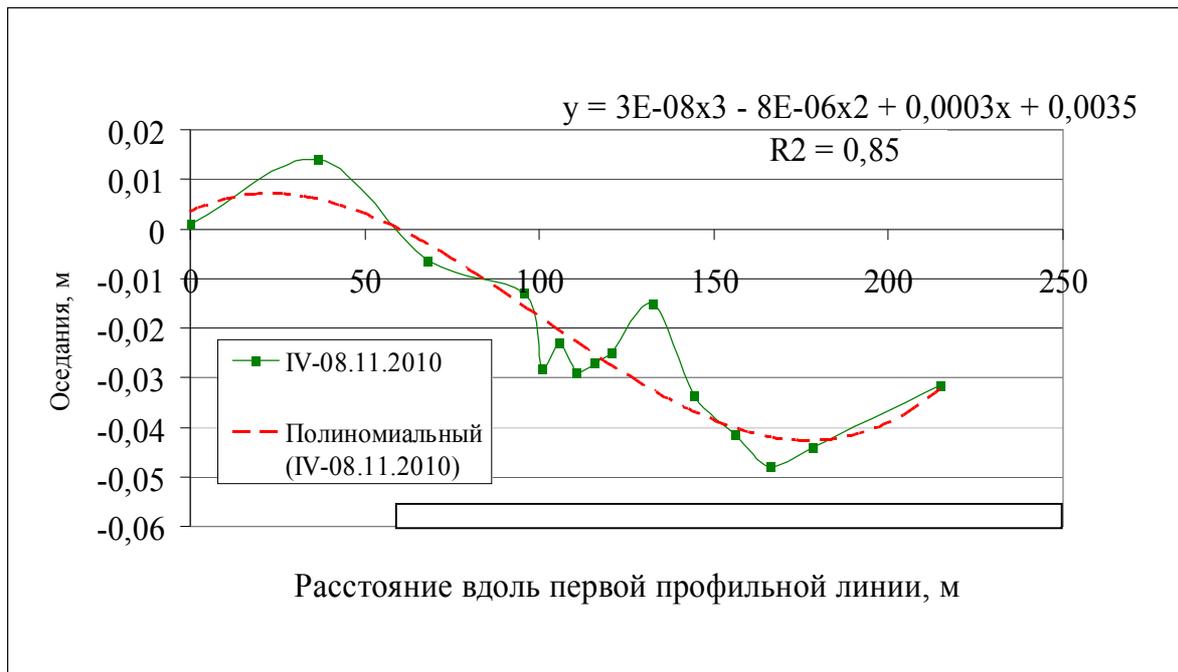


Рис. 14 - Оседания и полиномиальная кривая для четвертой серии измерений

Полученные результаты хорошо согласуются с утверждениями в работах [6, 7] о том, что амплитуда разброса

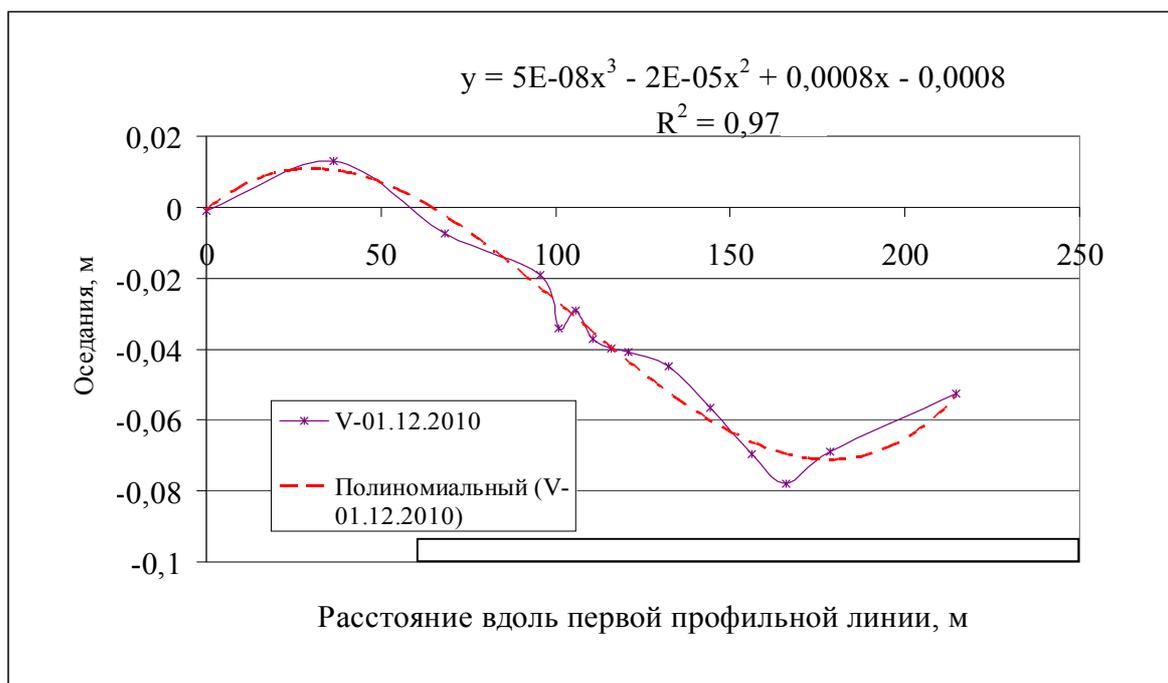


Рис. 15 - Распределение оседаний для пятой серии наблюдений

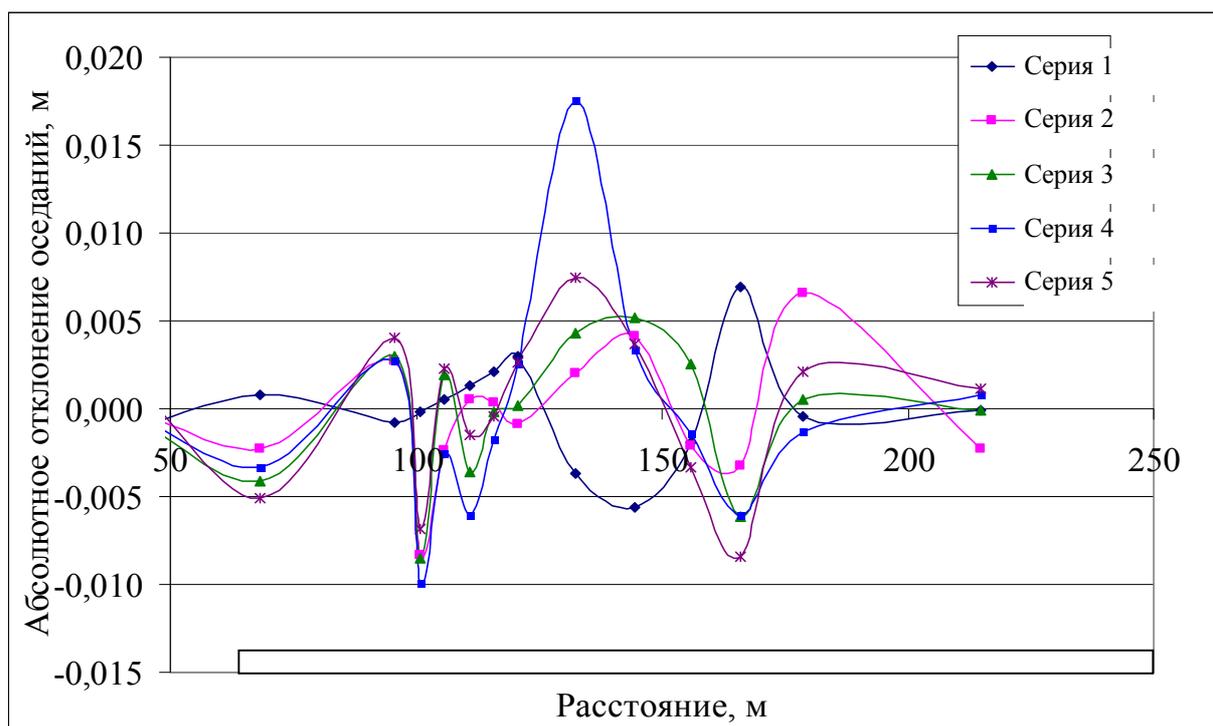


Рис. 16 – График абсолютных отклонений оседаний вдоль первой профильной линии

возможных отклонений оседаний в центре мульды всегда больше, чем их значения на границе мульды (рис. 16). Из рисунка видно, что в центре выработанного пространства разброс

значений отклонений оседаний достигает 27 мм, а у краевой части 3 мм.

Таким образом, можно сделать вывод, что натурные измерения выполнены в соответствии с правилами наблюдений за оседаниями земной поверхности и дали достоверные результаты.

Процесс сдвижения на сегодняшний день еще не закончен.

## ВЫВОДЫ

Прогнозирование параметров сдвижения остается актуальной задачей, поскольку большинство существующих методик прогноза ориентировано на детерминированный характер процесса сдвижений и недостаточно полно учитывает случайные отклонения оседаний и деформаций. В скрытом виде разброс значений параметров учитывается коэффициентами перегрузки, которые не дают достоверного представления о реальном диапазоне погрешностей и законе их распределения вдоль мульды.

В результате выполнения натурных измерений установлено, что наибольшая величина разброса отклонений отмечена над средней частью выработанного пространства и составила 27 мм. На переходе от выработанного пространства к массиву амплитуда разброса случайных отклонений уменьшается до 3 мм.

Полученные результаты хорошо согласуются с результатами стохастического численного моделирования. Выполненные исследования позволяют определить возможный диапазон ошибок как при натурных измерениях параметров мульды сдвижений, так и при определении расчетных параметров мульды.

Таким образом, установленная зависимость амплитуды разброса возможных величин оседаний вдоль мульды сдвижений подтверждается натурными исследованиями и может быть взята за основу при усовершенствовании методики определения расчетных оседаний. Данное усовершенствование заключается во введении поправки в ожидаемые величины сдвижений в виде двустороннего разброса вместо использования

детерминированного коэффициента перегрузки. Такой подход повышает надежность определения величин оседаний и деформаций земной поверхности при ее подработке длинными очистными забоями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом: ГСТУ 101.00159226.001 – 2003. - Введ. 01.01.2004.– К., 2004. – 128 с.
2. Schenk Jan. Dynamism of spatial displacements of points based on in-situ measurements and dependence on geomechanical properties of the roof/ - Poland, Cracow. – 2000.
3. Виттке В. Механика скальных пород: пер. с нем. / В. Виттке. – М.: Недра, 1990. – 439 с.
4. Chris Mark, Chief, Rock Mechanics Section NIOSH. 21<sup>st</sup> International Conference on Ground Control in Mining – Lakeview Scanticon Resort & Conference Center, Morgantown, WV, USA, 2002. – 377 p.
5. Сдвигение горных пород и земной поверхности при подземных разработках / под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. В.А. Букринского и канд. техн. наук Г.В. Орлова. - М.: Недра, 1984. – 247 с.
6. Бугаева Н.А. Особенности распределения стохастических отклонений оседаний земной поверхности при ее подработке одиночной лавой / Н.А. Бугаева, В.В. Назимко // Проблеми гірського тиску. – 2008. – 260с.
7. Бугаева Н.А. Определение параметров деформаций земной поверхности по стохастическим мульдам оседания / Н.А. Бугаева, К.В. Яремчук, В.В. Назимко // Проблеми гірського тиску. – 2009 – 269с.

*Надійшла до редколегії*

*© Бугаєва Н.А., Грищенков Н.Н., Назимко И.В., Прокопенко А.И., Сотников Д.Н., Яковенко С.М., Нечипорук А.В., Назимко В.В., 2010*