

УДК 622.1:622.834

БОЖКО В.Г., ГРИНЮК Б.А., ЧИРВА А.И. (УКРРУДПРОМ)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МОНИТОРИНГА ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ГОРНЫХ ПОРОД И ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ РАЗРАБОТОК В КРИВБАССЕ**

*Приведен опыт использования современных маркшейдерско-геодезических приборов (электронных тахеометров, GPS и электронных нивелиров) для наблюдательный за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке в Кривбассе.*

Подземная разработка месторождений полезных ископаемых сопровождается перераспределением напряжений в массиве, нарушением равновесия вмещающих горных пород и их сдвижением. Поэтому в Криворожском бассейне при проведении подземных горных работ всегда был актуальным вопрос мониторинга и исследований деформаций подрабатываемых участков земной поверхности, зданий и сооружений, попадающих в зону их влияния. Эти наблюдения в Кривбассе осуществляются с 30-х годов прошлого столетия Центральное научно-исследовательское маркшейдерское бюро (ЦНИМБ), Криворожским опорным пунктом ВНИМИ, Криворожским отделением ВИ-ОГЕМ и другими специализированными организациями. С переходом горных работ на глубокие горизонты проведение мониторинга за указанными объектами становится все более актуальной задачей. Это обусловлено в первую очередь совмещением открытой и подземной разработки месторождений, а также постоянным увеличением зон вредного влияния этих работ на окружающую среду. Учитывая значительно возросшие объемы этих работ контроль за состоянием горного массива, земной поверхностью, зданиями и сооружениями горнодобывающих предприятий в настоящее время осуществляется службами сдвижения горных пород горно-обогачительных комбинатов, отделами специальных маркшейдерско-геодезических исследований Дочернего предприятия «Укррудпром» ассоциации «Укррудпром», ОАО «КЖРК» и ОАО «Сухая Балка». Для проведения мониторинга за деформированием горных пород и земной поверхности в Кривбассе создана разветвленная сеть наблюдательных станций, состоящих из грунтовых реперов, расположенных на поверхности и в подземных горных выработках. Их сеть постоянно расширяется за счет включения в процесс наблюдений новых объектов.

В соответствии с ныне действующими нормативными документами [1-2] исследования процесса сдвижения горных пород и земной поверхности осуществляются в основном с помощью маркшейдерских инструментальных наблюдений, которыми предусмотрено выполнение следующего комплекса измерений: привязка опорных реперов профильных линий к пунктам опорного маркшейдерского обоснования (после выноса проекта наблюдательной станции в натуру) и периодический контроль за их неподвижностью в период проведения наблюдений; проведение начальной серии наблюдений для определения исходного положения реперов в горизонтальной и вертикальной плоскостях; проведение систематических наблюдений за положением реперов и определение их смещений в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Однако приведенная в Инструкции [1] методика выполнения маркшейдерских инструментальных измерений не соответствует современному уровню развития маркшейдерско-геодезических приборов и инструментов, так как предусматривает использование для этих целей светодальномеров, теодолитов, нивелиров, мерных проволок и другого оборудования. С появ-

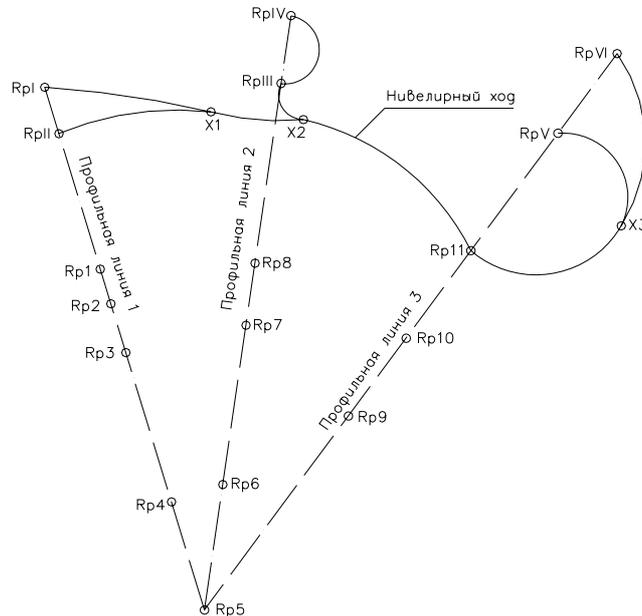
лением на горных предприятиях Кривбасса навигационных спутниковых систем (GPS), электронных тахеометров и нивелиров начались работы по исследованию возможностей их использования для решения различных горнотехнических задач и в первую очередь для проведения наблюдений за сдвижением горных пород и земной поверхности под влиянием подземных разработок.

Наиболее ответственным и трудоемким при проведении наблюдений за сдвижением земной поверхности является привязка опорных реперов. При применении традиционных методов измерения привязку опорных реперов наблюдательной станции в горизонтальной плоскости осуществляют с помощью триангуляции или проложением замкнутых полигонометрических ходов от ближайших пунктов опорной маркшейдерской сети (пункты триангуляции или полигонометрии). В отдельных случаях допускается осуществлять привязку прокладыванием висячих ходов в прямом и обратном направлениях. При изучении процесса сдвижения горных пород и земной поверхности привязку реперов проводят теодолитом со средней квадратической ошибкой измерения углом не менее  $\pm 30''$ , измерение длин линий – стальной компарированной рулеткой с постоянным натяжением при помощи динамометра, что позволяет обеспечить относительную линейную невязку хода не менее 1:2000. Высотную привязку и контроль за неподвижностью опорных реперов наблюдательной станции проводят от пунктов триангуляции, полигонометрии или реперов маркшейдерской нивелирной сети нивелированием IV [1].

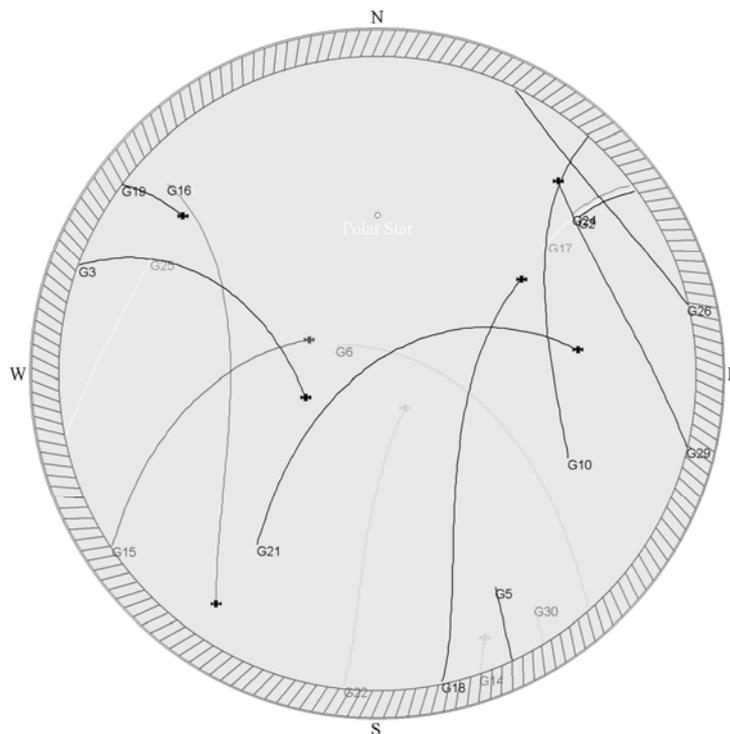
Проведенные исследования [3] показали, что при современном уровне развития приборной базы и благоприятных условиях проложения ходов привязку опорных реперов можно осуществлять при помощи электронных приборов. Для этих целей нами используются электронный тахеометр GTS-602 и электронный нивелир DL-102С фирмы “Торсон” (Япония), обеспечивающие проведение измерений с ошибками соответственно: горизонтальные углы  $m_{\beta} = \pm 1,77''$ ; вертикальные углы  $m_{\delta} = \pm 1,94''$ ; расстояния  $m_L = \pm (1,56 + 1,42 L \cdot 10^{-6})$ , мм, где  $L$  – расстояние в мм; превышения  $m_h = \pm 1,0$  мм на 1 км двойного хода (при электронном считывании отсчетов по штрих-кодовой рейке). Однако, опыт проведения этих работ показал, что в большинстве случаев пункты опорной сети удалены на значительное расстояние от профильных линий, не имеют прямой видимости на близлежащие точки сети, а проложение полигонометрических и нивелирных ходов весьма трудоемко. В этих условиях для привязки опорных реперов предложено использовать спутниковую радионавигационную систему (GPS).

При исследовании возможности выполнения привязки опорных реперов профильных линий использовались одночастотные GPS-приемники Legacy-H фирмы “Торсон” (США), обеспечивающие выполнение измерений с погрешностью: в плане  $-5 + 1,5L \cdot 10^{-6}$ ; по высоте  $-6 + 1,5L \cdot 10^{-6}$ , мм. Наиболее сложными условиями проведения этих экспериментов характеризуется привязка опорных реперов наблюдательной станции «Внутренний отвал» Анновского карьера ОАО «Северный ГОК», измерения на которой осуществлялись на глубине 160-140 м от уровня земной поверхности. Эта станция состоит из трех профильных линий, расположенных под углом друг к другу (рис.1), каждая из которых включала два опорных и 4-5 рабочих реперов. Опорные репера заложены на восточном борту карьера за зоной возможного влияния внутреннего отвала, а рабочие репера - на внутреннем отвале. Для определения координат X, Y и Z опорных реперов использовался комплект из трех приемников, один из которых был установлен на пункте опорной маркшейдерской сети - пирамиде «Четырехкурганная» (база или базовая точка), расположенной на север от наблюдательной станции за предельным контуром карьера. Антенны мобильных приемников последовательно устанавливались на опорных реперах I – VI и центрировались над ними с помощью оптического отвеса. Высота антенн определялась с точностью  $\pm 1$  мм, а ориентирование их на

север осуществлялось с помощью ориентир-буссоли. Во время проведения наблюдений количество спутников на небосводе изменялось от 7 до 11, а коэффициент работы PDOP не превышал 3, что удовлетворяло требованиям к GPS-измерениям [4]. Траектории полетов спутников при выполнении наблюдений приведены на рис. 2.



**Рис.1.** Схема расположения профильных линий 1-3 наблюдательной станции «Внутренний отвал» Анновского карьера: RpI-RpVI – опорные репера; Rp1 - Rp11 – рабочие репера; X<sub>1</sub> - X<sub>3</sub> - узловые точки нивелирного хода



**Рис. 2.** Расположение и траектории движения спутников на небосводе при проведении наблюдений по привязке опорных реперов наблюдательной станции «Внут-

ренный отвал» Анновского карьера: Polar Star – полярная звезда; G3, G5, G10... - номера спутников

Проведенные исследования показали, что при расстояниях от исходного пункта до опорных реперов в 2635 – 3149 м относительные погрешности их измерений изменялись от 1:483000 до 1:984000, что на два порядка выше требований Инструкции [1]. Полученные средние квадратические погрешности определения высотных отметок изменяются от 2,1 до 4,2 мм при допустимых невязках нивелирных ходов 8,1 - 8,9 мм. Таким образом, точность определения высотных отметок опорных реперов также удовлетворяет требованиям нормативных документов [1].

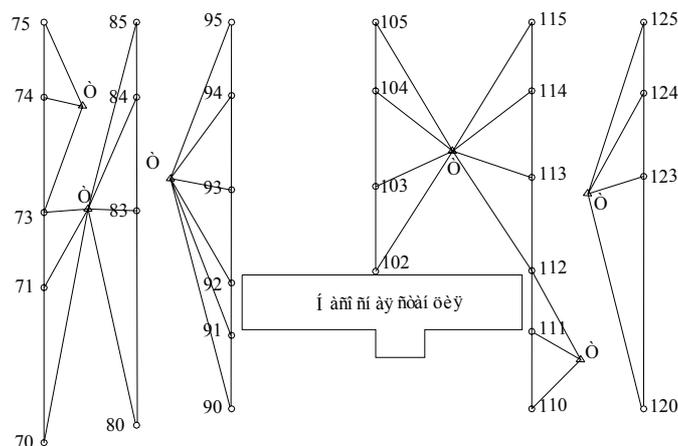
Для нанесения на план профильных линий определение координат рабочих реперов осуществляется путем прокладывания полигонометрических ходов (замкнутых или проложенных в прямом и обратном направлениях) электронным тахеометром. Эти результаты используются нами в качестве первой серии наблюдений при определении исходного положения реперов наблюдательной станции. Одновременно с этим проводится тригонометрическое нивелирование, погрешность которого во многом определяется точностью измерения высот тахеометра и сигналов (отражателей). Использование для этих целей устройства, приведенного в Инструкции [1], оказалось малоэффективным, т.к. требовало одновременно брать отсчет по рулетке и наблюдать за уровнем, установленным на репере. Для обеспечения требуемой точности измерения высот разработан специальный мерный жезл, представляющий собой стальной стержень диаметром 4-6 мм и длиной 1600 мм. Процесс измерения в этом случае заключается в следующем. После центрирования отражателя над репером, мерный жезл устанавливают на репере, пропуская его через полый становой винт. Определение высоты отражателя в этом случае состоит в измерении превышения мерного жезла над верхней плоскостью трегерной подставки, а поскольку расстояние от нее до оси вращения инструмента (отражателя или тахеометра) известно, то в ходе камеральной обработки легко вычисляется их высоты.

Известно, что при проведении наблюдений за сдвижением земной поверхности одной из наиболее трудоемких операция является поиск опорных и рабочих реперов профильных линий, которые из соображений их сохранности зачастую расположены ниже уровня земли. Для повышения производительности труда исполнителей при «вскрытии» реперов нами используются координаты рабочих реперов из исходной серии наблюдений. Для этого при поиске «потерянных» реперов применяется предусмотренная в тахеометре программа выноса в натуру точек по их координатам, позволяющая с необходимой точностью определять место поиска искомой точки.

В соответствии с Инструкцией [1] исходные наблюдения на станции состоят из двух независимых серий измерений. Поэтому нами предложено вторую серию наблюдений выполнять электронным тахеометром по программе определения неприступных расстояний. Исследования точности измерений по данной программе были выполнены на ряде объектов, на которых проводился мониторинг за деформациями. Наиболее характерным и сложным среди них является участок плотины хвостохранилища ОАО «Северный ГОК», прилегающей к зданию стационарной насосной оборотного водоснабжения (рис. 3).

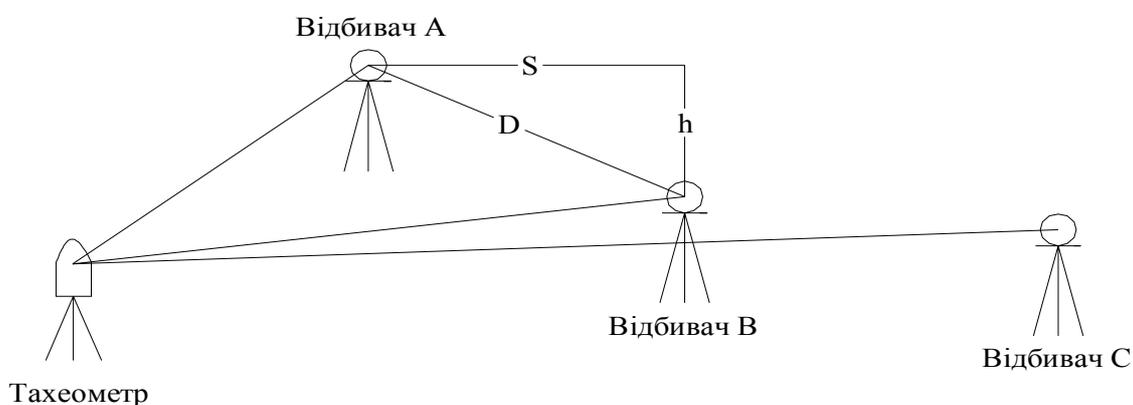
Наблюдательная станция заложена в начале 90-х годов прошлого столетия и состоит из 6 профильных линий, расположенных вокруг здания насосной вкрест простирающейся ограждающей дамбы. Для контроля точности измерений наблюдения выполнены по традиционной и предложенной методикам. Измерения по традиционной методике осуществлялись двумя бригадами (9 исполнителей), одна из которых выполняла геометрическое нивелирование по программе III класса (нивелиром Ni-002 в комплекте в

трехметровыми инварными рейками), а вторая - определяла координаты реперов по точности соответствующей полигонометрии 1 разряда при помощи теодолита Theo-010В и светодальномера СМ-2 «Топаз».



**Рис. 3.** План наблюдательной станции по контролю за состоянием плотины хвостохранилища ОАО «Северный ГОК» в районе стационарной насосной: 70 - 125 - грунтовые реперы, Т - точки стояния инструмента при измерении

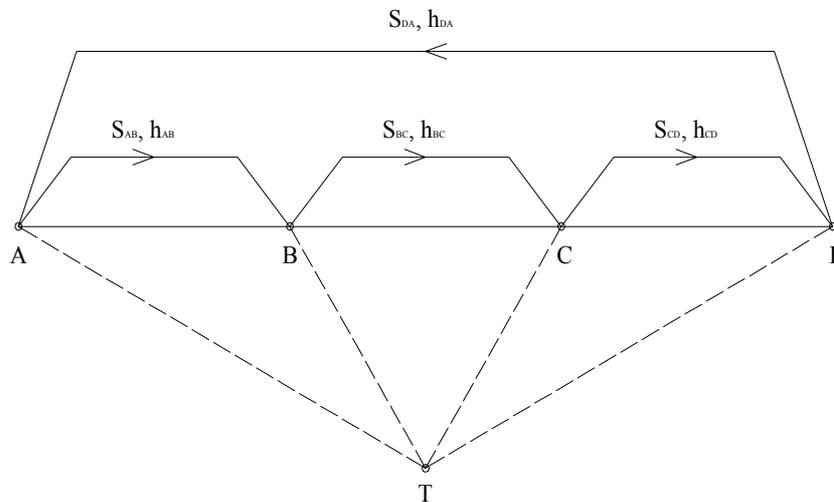
Измерения по предлагаемой методике предусматривали определение расстояний и превышений по профильным линиям с помощью электронного тахеометра GTS-602 с использованием функции измерения недоступных расстояний (MLM - Missing Line Measurement), позволяющую сразу получать горизонтальное проложение ( $S$ ) или истинную длину ( $D$ ) и относительное превышение ( $h$ ) между отражателями, установленными над соответствующими реперами (рис. 4) [5]



**Рис. 4.** Принципиальная схема измерений недоступных расстояний и превышений

Поскольку все маркшейдерские измерения выполняются с обязательным контролем, при использовании данной методики применяется следующая последовательность наблюдений (рис. 5). Тахеометр устанавливается вблизи профильной линии таким образом, чтобы с точки его стояния были видны отражатели, установленные на 3-4 реперах. Для проведения наблюдений используется режим, позволяющий последовательно определять расстояния и превышения между парами реперов (А-В, В-С, ...). Процесс измерения в данном случае заканчивается определением величин  $\Delta S$  и  $\Delta h$  между последним и первым реперами. При расположении реперов профильной линии в створе имеем двойной контроль: по расстоянию ( $\Delta S_{AB} + \Delta S_{BC} + \Delta S_{BD} = \Delta S_{DA}$ ) и по превышению ( $\Delta h_{AB} + \Delta h_{BC} + \Delta h_{CD} = \Delta h_{DA}$ ). Невязка по контролям как правило не превышает 1

мм. Она распределяется в ходе камеральной обработки по стандартной методике. В случае, когда репера расположены не в створе, контроль осуществляется только по превышению. Следует отметить, что выбор места установки тахеометра относительно отражателей при данной методике не имеет принципиального значения.



**Рис. 5.** Схема измерений расстояний и превышений между реперами профильной линии с контролем: A, B, C, D - репера профильной линии, T - тахеометр

Расхождения между первой и второй сериями исходных наблюдений, выполненных по предложенной методике были значительно ниже требований «Инструкции по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при разработке рудных месторождений» (М.: Недра, 1988).

Таким образом, выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Применение GPS-приемников Legacy обеспечивает требуемую точность привязки опорных реперов наблюдательных станций к пунктам опорной маркшейдерской сети, повышая при этом производительность труда исполнителей в 1,5-2,0 раза.

2. Первую серию исходных наблюдений целесообразно выполнять путем проложения по реперам профильной линии полигонометрического хода и тригонометрического нивелирования электронным тахеометром типа GTS-602. Вторую серию исходных наблюдений и все последующие измерения целесообразно выполнять этим же тахеометром с использованием программы определения непреступных расстояний.

### Библиографический список

1. **Инструкция** по наблюдениям за сдвижением горных пород и земной поверхности при подземной разработке рудных месторождений – М.: Недра, 1988. – 112 с.
2. **Правила охраны** сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных работ в Криворожском железорудном бассейне. – Л.: ВНИМИ, 1975. – 68 с.
3. **Божко В.Г., Гринюк Б.А., Чирва А.И.** Использование GPS-системы для привязки опорных реперов наблюдательных станций // Вісник Криворізького технічного університету. - Кривий Ріг. - 2007. - №18. - С. 74-76.
4. **Інструкція** з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500. – К.: ГУГКУ, 1999. – 155 с.
5. **Божко В.Г., Гринюк Б.О., Чирва О.І.** Використання електронних приладів при спостереженні за деформаціями поверхні та стійкістю об'єктів технологічного комплексу гірничовидобувних підприємств Кривбасу//Вісник Криворізького технічного університету. - 2005. - №7. - С. 65-67.