

МЕТОДИКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ КАРЬЕРНЫХ ОТКОСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GNSS ТЕХНОЛОГИЙ

Екатерина Васильевна Ситникова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: katya_sitnikova@mail.ru

Елена Николаевна Хмырова

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, проспект Нурсултана Назарбаева, 56, кандидат технических наук, зав. кафедрой маркшейдерского дела и геодезии, тел. (7212)56-26-27, e-mail: hmyrovae@mail.ru

Дмитрий Сергеевич Ожигин

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, проспект Нурсултана Назарбаева, 56, доктор PhD, старший преподаватель кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (7212)56-26-27, e-mail: ozhigin.dima@mail.ru

В статье рассмотрена методика инструментального контроля состояния устойчивости карьерных откосов при помощи GNSS-технологий на карьере Каратемир. Для выполнения исследования было выбрано железорудное месторождение. Эксплуатация объектов недропользования, разрабатываемых открытым способом, требует проведения регулярного мониторинга состояния устойчивости прибортового массива. Это является главной задачей для безопасной и эффективной работы всего месторождения. Также описаны благоприятные условия для проведения наблюдений и точность спутниковых наблюдений. Выполнен анализ состояния устойчивости карьерных откосов.

Ключевые слова: карьер, прибортовой массив, наблюдательная станция, устойчивость, спутниковые наблюдения, анализ состояния.

METHODOLOGY OF INSTRUMENTAL CONTROL OF STABILITY OF QUARRY SLOPES USING GNSS TECHNOLOGIES

Ekaterina V. Sitnikova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-55, e-mail: katya_sitnikova@mail.ru

Elena N. Hmyrova

Karaganda State Technical University, 56, Nursultan Nazarbayev Avenue, Karaganda, 100027, Kazakhstan Republic, Candidate of Engineering Sciences, Head of the Department of Mine Surveying and Geodesy, phone: (7212)56-26-27, e-mail: hmyrovae@mail.ru

Dmitry S. Ozhigin

Karaganda State Technical University, 56, Nursultan Nazarbayev Avenue, Karaganda, 100027, Kazakhstan Republic, PhD, Senior Lecturer, Department of Mine Surveying and Geodesy, phone: (7212)56-26-27, e-mail: ozhigin.dima@mail.ru

The article describes the methodology of instrumental monitoring of the stability of Karatemir open pit slopes using GNSS technologies. An iron ore deposit was selected to carry out the study. The exploitation of subsurface use facilities developed in an open way requires regular monitoring of the stability state of the instrument array. This is the main task for the safe and efficient operation of the entire field. The favorable conditions for conducting observations and the accuracy of satellite observations are also described. The analysis of the stability status of career slopes.

Key words: open pit, near-surface array, observation station, stability, satellite observation, state analysis.

Введение

Систематические инструментальные наблюдения на станциях в системе гео-мониторинга заключаются в определении с помощью электронного тахеометра Leica TS 16 и GNSS технологий положения рабочих реперов в пространстве на данный момент времени с фиксированием горно-геологических факторов [1, 4].

Полная серия инструментальных наблюдений включает в себя следующие работы: привязку исходных и опорных реперов станций (определение координат X, Y, Z) к ближайшим пунктам маркшейдерской опорной геодезической сети; производство начальных наблюдений для определения исходного положения реперов наблюдательных станций в горизонтальной и в вертикальной плоскостях; производство систематических наблюдений за положением реперов для определения их сдвижения или смещения.

Методика контроля состояния устойчивости

Для контроля состояния устойчивости карьерных откосов на карьере Каратемир дополнительно применяется методика с использованием GNSS технологии [3].

Данная методика геодезических измерений позволяет изменить требования к традиционной (классической) конструкции наблюдательных станций, т. е. станций с опорными реперами, вынесенными за границу возможного влияния горных работ на устойчивость прибортового массива карьера (на расстояние не менее $1,5 H$ от границы горных работ, где H – глубина карьера, м) [5–10].

Наблюдательные станции, на которых производятся геодезические измерения с использованием GNSS технологий, могут состоять из множества реперов, не связанных между собой в профильные линии. При этом анализ результатов измерений производится путем определения векторного смещения каждого репера в отдельности [2].

Для определения пространственного положения реперов наблюдательных станций с более высокой точностью, измерения необходимо выполнять в дифференциальном режиме. Сущность дифференциального режима измерений заключается в следующем: измерения производятся с одновременным использованием двух GNSS приемников, один из которых является базовым и устанавливается

на точке с известными координатами (пункт ГГС), а второй используется в качестве ровера (передвижного приемника) для определения координат интересующих точек.

Существует два способа дифференциального режима измерений: с постобработкой результатов измерений и измерений в RTK режиме (режим реального времени) [11, 12].

При использовании режима измерений с постобработкой результатов сначала выполняются полевые измерения интересующих точек, а затем выполняется перенос результатов измерений из приемника в компьютер и обработка результатов с использованием специализированного программного обеспечения.

Режим реального времени позволяет получать координаты определяемых точек непосредственно в полевых условиях, для этого между базовым приемником и ровером, снабженными радио или GSM модемами, требуется наличие радиосвязи либо GSM-связи [2, 11, 12].

Для перехода из WGS-84 в местную систему координат создается файл трансформации системы координат, при этом необходимо иметь координаты каждого пункта трансформации в обеих системах координат, т.е. в WGS-84 и в местной системе координат. Качество ключа трансформации зависит от количества и схемы расположения пунктов, которые задействованы в вычислениях, для выявления невязок.

Трансформация координат – это строгое математическое преобразование по семи параметрам. Семь параметров трансформации – это три угла поворота вокруг осей ($\omega_x, \omega_y, \omega_z$), смещение по осям ($\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$) и коэффициент изменения масштаба m , при переходе от эллипсоида к эллипсоиду (рис. 1).

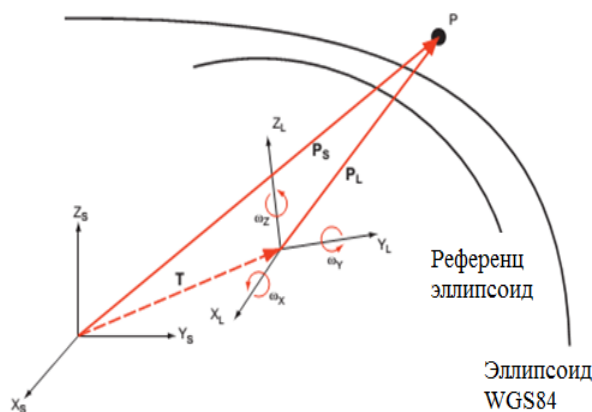


Рис. 1. Параметры трансформации

Для создания ключа файла трансформации координат карьера Каратемир выбрано семь пунктов государственной геодезической сети (ГГС): 0200; 1930; 92; 4485; 3965; 1247 (рис. 2).

GPS измерения были выполнены по связующим точкам профильных линий (рис. 3).

Точность спутниковых наблюдений зависит от конфигурации спутникового созвездия в период выполнения приема данных. Влияние конфигурации спутникового созвездия на точность спутниковых определений характеризуется фактором понижения точности DOP (dilution of precision), представляющим собой отношение среднеквадратической погрешности определения местоположения к среднеквадратической погрешности измерения расстояний до наблюдаемых спутников. Фактор DOP характеризуется безразмерной величиной, изменяющейся в пределах первых десятков. Наивысшая точность спутниковых определений достигается при наименьших значениях DOP. Идеальная для спутниковых определений конфигурация спутникового созвездия достигается в случае, когда один из спутников находится в зените, а остальные равномерно распределены по окружности с центром в определяемой точке так, что их возвышение над горизонтом составляет 20° . Ситуация, когда спутники сгруппированы в небольшой части неба, является неблагоприятной. Поэтому все полевые измерения с использованием GNSS технологий должны сопровождаться предварительным планированием времени и продолжительности спутниковых измерений. Данная процедура осуществляется с использованием специализированного программного обеспечения, поставляемого вместе с GNSS приемниками.

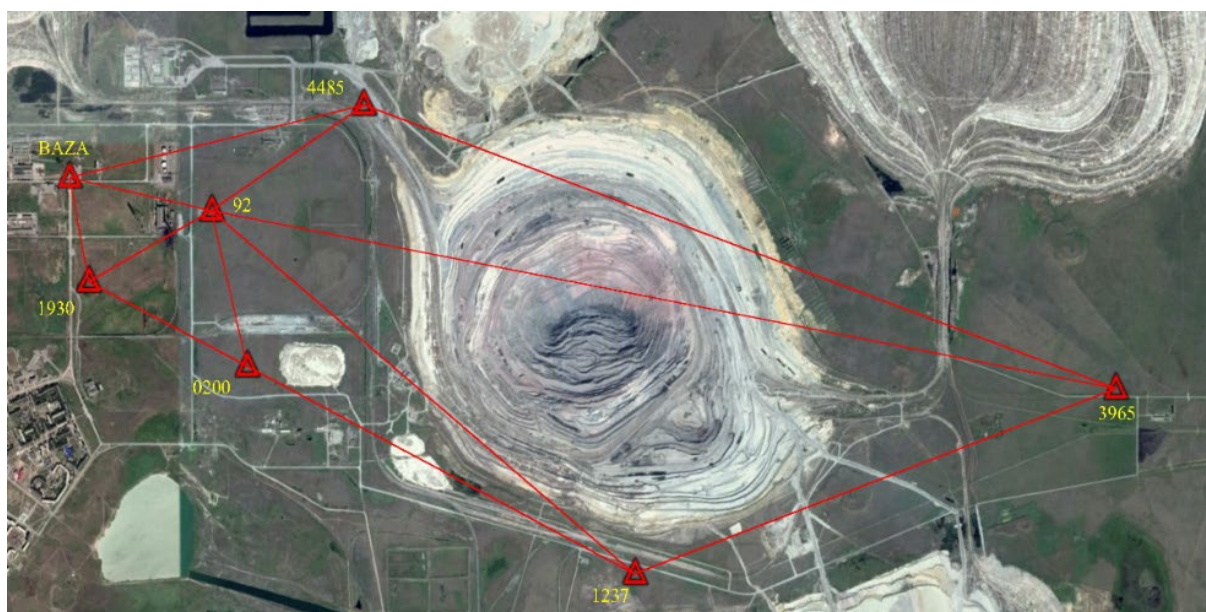


Рис. 2. Местоположение опорных реперов наблюдательных станций

Исходными данными для прогнозирования спутникового созвездия являются координаты объекта работ и эфемеридная информация (альманах) о спутниках. В случае если в районе расположения наблюдаемых пунктов имеются предметы или сооружения, препятствующие прохождению радиосигналов от спутников, то в качестве исходной информации при прогнозировании необходимо использовать также значения высот и азимутов границ нахождения препятствий, определенные в ходе рекогносцировки.

Благоприятными для производства измерений являются промежутки времени, когда обеспечивается прием спутникового радиосигнала от семи-восьми и более спутников при коэффициенте PDOP меньше четырех.

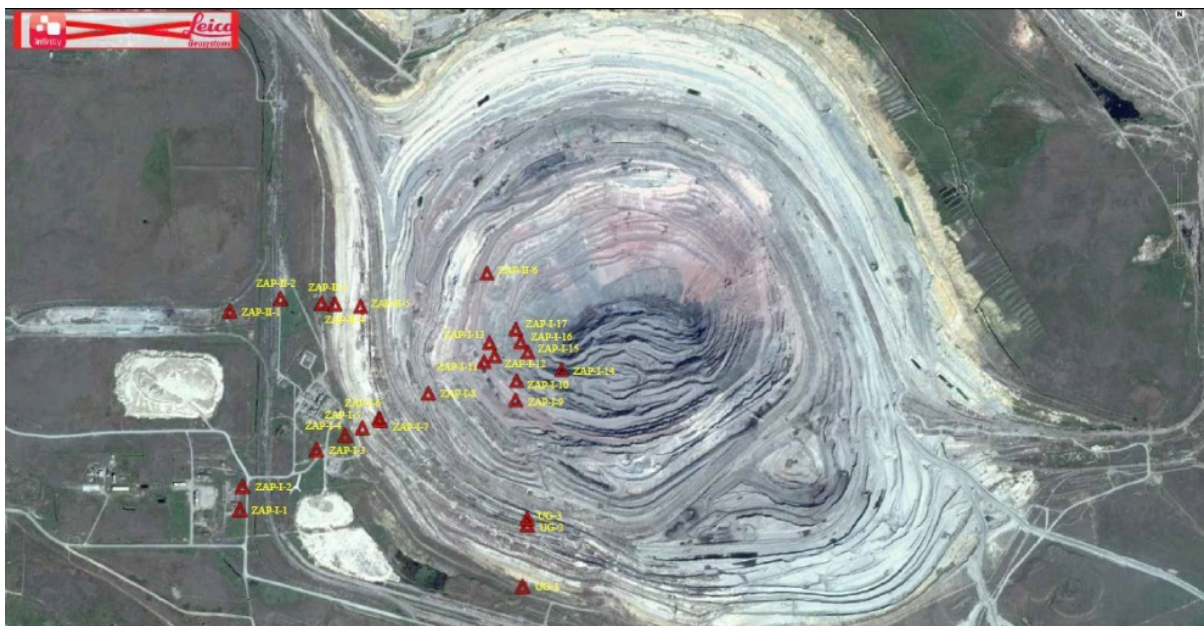


Рис. 3. Местоположение пунктов ГГС по связующим точкам профильных линий наблюдательных станций

При таких условиях наблюдений, возможно, проводить измерения на миллиметровом уровне точности.

Факторы, влияющие на снижение точности:

- орбиты спутников;
- наличие объектов-помех, закрывающих необходимые области неба;
- влияние атмосферы;
- отражение радиоволн.

Существуют параметры, являющиеся функциями соответствующих матриц ковариации, состоящие из элементов в глобальной или локальной геодезической системе координат:

- HDOP (Horizontal Dilution of Precision) – снижение точности в горизонтальной плоскости;
- VDOP (Vertical) – снижение точности в вертикальной плоскости;
- PDOP (Position) – снижение точности по местоположению;
- TDOP (Time) – снижение точности по времени;
- GDOP (Geometric) – суммарное геометрическое снижение точности по местоположению и времени.

Снижения точности могут быть получены математически по положению доступных спутников (источников навигационного сигнала). Многие GNSS-

приемники позволяют отображать текущее расположение всех спутников («созвездие спутников») вместе со значениями DOP (табл. 1).

Для каждой определяемой точки в программном комплексе Leica Infinity определен фактор DOP.

Полученные данные позволили восстановить и сгустить координатную сеть карьера Каратемир с допустимой точностью для последующего наблюдения профильных линий с определением геотехнического состояния бортов карьера [14–18].

Таблица 1

Значение DOP

Значение DOP	Точность	Описание
≤1	Идеальная	Рекомендуется к использованию в системах, требующих максимально возможную точность во всё время их работы.
2 - 3	Отличная	Достаточная точность для использования результатов измерений в достаточно чувствительной аппаратуре и программах.
4 - 6	Хорошая	Рекомендуемый минимум для принятия решений по полученным результатам. Результаты могут быть использованы для достаточно точных навигационных указаний.
7 - 8	Средняя	Результаты можно использовать в вычислениях, однако рекомендуется акцентироваться на повышении точности, например, выйти на более открытое место.
9 - 20	Ниже среднего	Результаты могут использоваться только для грубого приближения местоположения.
21 - 50	Плохая	Выходная точность ниже половины футбольного поля. Обычно такие результаты должны быть отброшены.

Анализ данных

Выполняя анализ сравнительных результатов [3] между первой и второй серией наблюдений, необходимо отметить, что линия ZAP II состоит из трех пунктов, во второй серии 2 пункта восстановлены (ZAP II-3,4). Смещений в планово-высотном положении не зафиксировано. Линия UG состоит из четырех пунктов, во второй серии восстановлены (UG-1, 4, 5, 6). Смещений в планово-высотном положении не зафиксировано. Линия ZAP –I -1 состоит из девяти пунктов, максимальное оседание ZAP–I–9 составляет 27 мм, горизонт (-) 14,0 м.

Выполняя анализ результатов между второй и третьей серией, необходимо отметить, что на момент измерений линия состояла из двух пунктов: ZAP – II -2, 3. Смещений не обнаружено.

Выполняя анализ результатов между второй и третьей серией по линии UG получили неправдоподобные данные. Это объясняется тем, что в третьей серии была допущена ошибка трансформации.

Выполняя анализ результатов между второй и третьей серией наблюдений по линии ZAP- I, можно отметить, что линия в третьей серии состоит из семи связующих пунктов. На горизонте (-) 37,0 м на пункте ZAP-I-12 зафиксирована осадка (-) 61 мм, пространственный вектор смещения равен 100 мм.

Заключение

Анализируя полученные инструментальные и визуальные наблюдения по исследованию устойчивости прибортовых массивов карьера Каратемир, учитывая наличия деформаций, низкие прочностные характеристики горных пород, геологические нарушения, необходимо продолжить работу по мониторингу и оценке состояния устойчивости прибортовых массивов Качарского месторождения на основе высокоточных инструментальных наблюдений путем увеличения периодичности наблюдений для предотвращения опасных деформаций и обеспечения безопасности ведения горных работ [3, 19, 20].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Согласованы приказом Комитета по государственному контролю за чрезвычайными ситуациями и промышленной безопасностью Республики Казахстан от «22» сентября 2008 г. № 39.
2. Е.Б. Михаленко, Н.Н. Загрядская, Н.Д. Беляев и др. - Инженерная геодезия. Современные методы геодезических измерений с использованием искусственных спутников Земли: учеб. пособие / Е. Б. Михаленко [и др.]; под научн. ред. Е. Б. Михаленко. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 80 с.
3. Технический отчет по теме «Исследование состояния устойчивости карьерных откосов на основе инструментальных наблюдений». – Караганда: КарГТУ. – 2018г.
4. ВНИМИ. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. - Л., 1972. – 165 с.
5. Попов И.И., Низаметдинов Ф.К., Окатов Р.П., Долгоносков В.Н. Природные и техногенные основы управления устойчивостью уступов и бортов карьера. Алматы: Гылым, 1997. – 215 с.
6. Низаметдинов Ф.К., Ожигин С.Г., Ожигина С.Б., Ожигин Д.С. Мониторинг устойчивости бортов карьеров Казахстана//Маркшейдерский вестник. - 2013.- №3.– С. 19-24.
7. Инструкция по наблюдению за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Л.: ВНИМИ, 1971. - 188с.
8. Ожигин С.Г. Маркшейдерско-геологический мониторинг состояния устойчивости карьерных откосов //Новости науки Казахстана. – Алматы: НЦНТИ, 2007. - С. 12-16.
9. Старостина О. В., Долгоносков В. Н., Ситникова Е. В., Михнев А. В. Оценка рисков возможных обрушений уступов стационарного борта разреза "Богатырь" при проектировании усреднительного угольного склада // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2018. – № 1. – С. 78–86.
10. Бесимбаева О.Г., Хмырова Е.Н., Низаметдинов Ф.К., Олейникова Е.А. Оценка и прогноз устойчивости бортов карьера "Кентобе"//Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2018. - № 6. - С. 120-126.
11. Низаметдинов Ф.К., Ожигина С.Б., Ожигин С.Г. и др. Модель базы данных маркшейдерского мониторинга состояния прибортовых массивов карьеров//Горный журнал Казахстана. — 2010. — №12. — С. 32-36.
12. Кафтан В.И. – Система координат и системы отсчета в геодезии, геоинформатике и навигации. – Геопрофи. №3 – 2008. С.60-63
13. Шпаков П. С., Мирный И. Я., Долгоносков В. Н., Старостина О. В. Оценка параметров устойчивых внутренних отвалов на разрезе "Богатырь" // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2016. - № 2. - С. 345-356.

14. Проект наблюдательных станций за деформациями откосов уступов и бортов карьеров Жайремского ГОКа./ Низаметдинов Ф.К., Ожигин С.Г., Ожигина С.Б., Караганда, 2002, 52 с.
15. Шпаков П.С., Шпакова М.В., Долгоносов В.Н., Долгоносова Е.В. Оценка устойчивости проектных контуров внутренних отвалов на разрезе "богатырь" (карагандинский угольный бассейн)//Маркшейдерия и недропользование. - 2011. - № 1 (51). - С. 42-48.
16. Горохов Д.А., Дорош Н.А., Абуева Е.В. Применение лазерного сканирования для мониторинга состояния прибортовых массивов на разрезе «Каратемир» //Интерэкспо Гео-Сибирь. - 2019. - № 1. - С. 190-198.
17. Ситникова Е.В., Ожигин С.Г., Кулыгин Д.А. Анализ деформаций прибортовых массивов на разрезе «Каракомир» и разработка проекта наблюдательных станций для мониторинга их состояния//Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2019. – № 1. – С. 279–288.
18. Волошина Д. А. Исследование геомеханического состояния прибортовых массивов карьеров // Молодой ученый. — 2017. — №36. — С. 15-18.
19. Голубко Б.П., Яковлев В.Н. Наблюдение за состоянием бортов // Известия Уральского государственного горного университета (Энергетика и рациональное природопользование). – 2005. – С. 33-37.
20. Низаметдинов Ф. К., Олейникова Е. А., Нагибин А. А. Практика использования технологий лазерного сканирования в наблюдениях за деформациями бортов карьера // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. – 2019. – № 1. – С. 272–278.
21. Низаметдинов Ф. К., Ожигин С. Г., Ожигина С. Б. Управление устойчивостью бортов карьеров // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 3. – С. 30–34.

© Е. В. Ситникова, Е. Н. Хмырова, Д. С. Ожигин, 2020