

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ В НАБЛЮДЕНИЯХ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ**

### ***Ольга Газисовна Бесимбаева***

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Казахстан, г. Караганда, пр. Нурсултана Назарбаева, 56/2, к.т.н., доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (7212)56-26-27, e-mail: bog250456@mail.ru

### ***Фарит Камалович Низаметдинов***

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Казахстан, г. Караганда, пр. Нурсултана Назарбаева, 56/2, д.т.н., профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (7212)56-26-27, e-mail: niz36@mail.ru

### ***Елена Алексеевна Олейникова***

Сибирская государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, e-mail: panasenkoelena@mail.ru

В статье рассмотрены вопросы использования технологий лазерного сканирования в наблюдениях за деформациями бортов карьеров на железорудных месторождениях. Для выполнения наблюдений и анализа полученных результатов был выбран железорудный карьер. Задачей исследования является обобщение применяемых на горных предприятиях методов и технических средств для наблюдения и измерения деформаций в горных массивах. Безопасность и эффективность работы железорудных карьеров во многом определяется используемыми методами наблюдения за деформационными процессами и расчета устойчивости бортов карьеров и отвалов. На основании анализа существующих подходов к решению этой задачи сделан вывод о целесообразности использования системы лазерного сканирования при оценках устойчивости. В результате выполненного анализа результатов измерений, получена цифровая модель прибортовых массивов карьера, которая позволяет создать электронную базу для дальнейшего использования в решениях маркшейдерских и геомеханических задач.

**Ключевые слова:** лазерное сканирование, сдвигение, деформации, сканер, инструментальные наблюдения, цифровая модель, облако точек.

## **USE OF LASER SCANNING TECHNOLOGIES FOR OBSERVATIONS OF DEFORMATIONS OF OPEN PIT WALLS**

### ***Olga G. Besimbayeva***

Karaganda State Technical University, 56, Nursultan Nazarbayev Avenue, Karaganda, 100027, Kazakhstan Republic, Ph. D., Associate Professor, Department of Mine Surveying and Geodesy, phone: (7212)56-26-27, e-mail: bog250456@mail.ru

### ***Farit K. Nizametdinov***

Karaganda State Technical University, 56, Nursultan Nazarbayev Avenue, Karaganda, 100027, Kazakhstan Republic, D. Sc., Professor, Department of Mine Surveying and Geodesy, phone: (7212)56-26-27, e-mail: niz36@mail.ru

*Elena A. Oleynikova*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, e-mail: panasenkoelena@mail.ru

The article discusses the use of laser scanning technology for observing the deformations of an open pit walls in iron ore deposits. To carry out observations and analysis of the results obtained, an iron ore quarry was selected. The task of the study is to summarize methods and technical means used at mining enterprises for observing and measuring deformations in mountain ranges. The safety and efficiency of iron ore quarries is largely determined by the methods used to monitor the deformation process and calculate the stability of the pit walls and dumps. Based on the analysis of existing approaches to solving this problem, a conclusion was drawn on the advisability of using a laser scanning system for assessing sustainability. As a result, an analysis of the measurement results obtained in a digital model of the quarry near-surface arrays was obtained, which allows creating an electronic database for further use in surveying and geomechanical tasks.

**Key words:** laser scanning, displacement, deformations, scanner, instrumental observations, digital model, point cloud.

### *Введение*

Месторождение железных руд Кентобе расположено в Каркаралинском районе Карагандинской области. Месторождение открыто в 1949 году, в 1950–1980 годах проводилась разведка, а с 1983 года началась непосредственная его эксплуатация. Разработка месторождения ведется открытым способом по проекту, созданному АО «Институт Уралгипроруда» (г. Екатеринбург).

Рудник Кентобе – легкообогащаемое сырье с хорошими магнитными свойствами. Применяемая система разработки месторождения Кентобе – транспортная с внешним отвалообразованием. Скальная вскрышная порода и руда разрабатывается с предварительным проведением буровзрывных работ.

На погрузке горной массы используются экскаваторы типа прямая лопата ЭКГ-5А с объемом ковша 5,0 м<sup>3</sup>, KOMATSU PC1250 прямая лопата с ковшом 5,5 м<sup>3</sup>, а также САТ-385 с ковшом типа обратная лопата 5,0 м<sup>3</sup>. На бурении скважин задействованы станки шарошечного бурения СБШ-250 МН.

Основным видом транспорта для перевозки руды и пород вскрыши является автомобильный: БелАЗ-7523, KOMATSU HD-465 и САТ-773Е, а также автотранспорт подрядных организаций.

Добытая руда транспортируется на дробильно-обогательную фабрику. На комплексах крупного, среднего и мелкого дробления руда дробится, а затем подвергается сухой магнитной сепарации, то есть на дробильно-обогательной фабрике осуществляется процесс обогащения – отделение породы от железной руды.

Дозировка вагонов до нормы грузоподъемности, их взвешивание и осмотр происходит в железнодорожном цехе. После этого обогащенный железорудный концентрат с содержанием железа 55–56 % отгружается и отправляется по железной дороге в стальной департамент АО «АрселорМиттал Темиртау».

Здесь добываются мармитовые и магнетитовые руды, которые направляются на металлургический комбинат в г. Темиртау. Месторождение сложено преимущественно скальными образованиями, частично перекрытыми рыхлообломочными четвертичными отложениями и образованиями коры выветривания мощностью 3–5 м. В связи с разным составом и типом руд, а также тектоническими нарушениями в залегании, месторождение считается довольно сложным и неоднородным [1–3].

Угол откосов уступов карьера в коренных породах достигает 60–65°. Глубина карьера составляет порядка 150 м (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид карьера «Кентобе»

### *Методика проведения наблюдений*

Производство инструментальных наблюдений на карьере имеет важное технологическое значение для безопасной отработки месторождения данного полезного ископаемого [4].

С 2015 года сотрудниками кафедры Маркшейдерского дела и геодезии (КарГТУ) производятся инструментальные наблюдения за устойчивостью бортов карьера [5–7] (рис. 2). Для этого на выявленных наиболее опасных двух глинистых участках по профильным линиям были заложены наблюдательные станции в виде металлических реперов: на восточном борту карьера в количестве 25 штук, на западном борту в количестве 20 шт. Эти репера служат основой для изучения процесса деформирования глинистых прибортовых откосов [8–10]. Кроме этого, первая станция включает четыре профильные линии [11, 12], а вторая станция – площадную станцию, расположенную на оползневом массиве.

Высокоточные геодезические наблюдения за сдвигами бортов по заложенным профильным линиям выполняются с цикличностью 4 раза в год. При этом методика высокоточных измерений основана на использовании электронного тахеометра Leica TCR1202 в комплекте с отражателями и схемой наблюдения (рис. 3).



Рис. 2. Выполнении НИР на карьере «Кентобе»

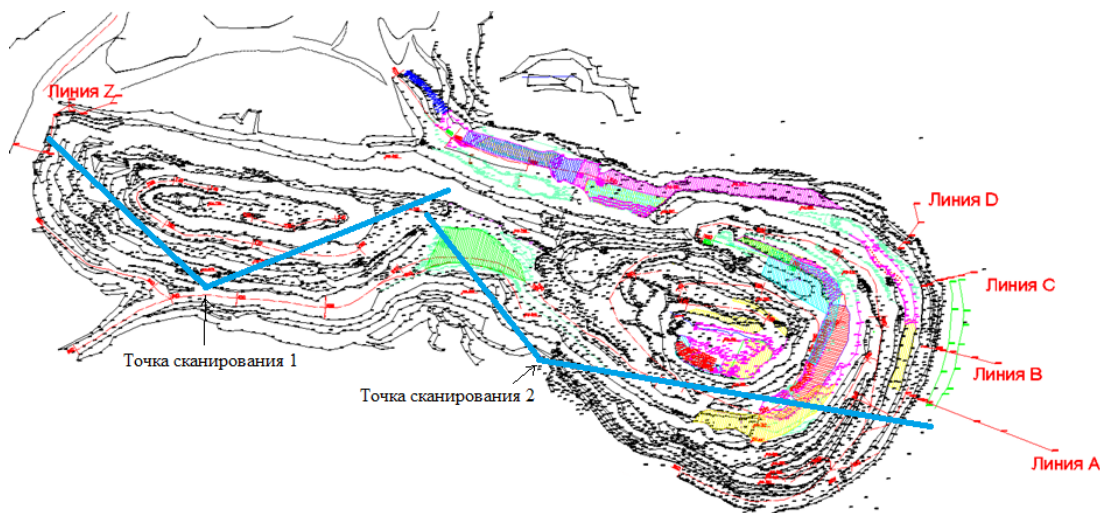


Рис. 3. План наблюдательных станций на карьере «Кентобе»

Анализ данных смещений, полученных по результатам инструментальных наблюдений, показывает, что на восточном борту верхние глинистые откосы в целом находятся в устойчивом состоянии, однако имеются незначительные деформации. Незначительные оседания приоткосной зоны находятся пределах 10,0–15,0 мм, а оползневое тело (внизу глинистого откоса) перемещается до – 39,0 мм, что соответствует скорости смещения до 0,6 мм/сутки. Это связано, в основном, с появлением воды, вследствие выпадающих ливневых дождей. На это смещение также оказывает влияние характер рельефа местности – понижение отметки земной поверхности на данном участке. Одной из эффективных мер предупреждения смещения является изоляция прибортового массива от воды или отвода потоков собирающейся воды из этого района разработки [13]. Для этих мер была создана нагорная канава со специальным заградительным валом, которая отводила основной поток воды, который образуется от таяния снега с гор и холмов [14, 15].

Что же касается верхних глинистых отложений западного борта карьера, то они подвержены с одной стороны постепенному выпору в карьер, а с другой – намоканию их водой от снега, таяние которого имеет место в весенний период (рис. 4). В связи с этим размокшая глина смещается по западному борту в карьер. Результаты наблюдений по реперам, заложенным в глинистом теле, показывают, что происходит его опускание до (-58,0 мм) по высоте, а в плане в сторону карьера (до -23,0 мм).



Рис. 4. Результаты сканирования верхних глинистых отложений западного борта карьере «Кентобе»

При этом скорость смещения равна, соответственно, -3,0 мм/сут и эта величина не является критической, так как ее предельное значение не должно превышать 10,0 мм/сут. Поэтому глинистый участок на западном борту находится в напряженном состоянии, но в целом устойчив [16, 17].

#### ***Наблюдениях за деформациями северного борта карьера горным лазерным сканером***

В настоящее время технология лазерного сканирования становится неотъемлемой частью проводимого комплекса геодезических работ с целью получения в кратчайшие сроки полной и достоверной информации о деформациях, оползнях и обрушениях на основе цифровой модели карьера.

Сущность наземного лазерного сканирования заключается в измерении с высокой скоростью расстояний от сканера до точек, расположенных на бортах карьеров, и регистрации соответствующих направлений (вертикальных и горизонтальных углов).

Необходимо отметить, что фактическая точность определения координат точек бортов карьеров с использованием наземных лазерных сканеров зависит, в основном, от технических характеристик прибора, структуры бортов и углов откосов уступов карьера. Практическое значение применения лазерного

сканирования заключается в том, что результаты наблюдений используются в качестве исходного материала для оценки степени устойчивого состояния карьерных откосов. На основе полученных данных изучается характер протекания деформационных процессов, затрагивающих борта карьеров, делается соответствующий прогноз деформационного их состояния, и составляются рекомендации по повышению устойчивости.

Особое значение инструментальные наблюдения, предусматривающие дистанционное сканирование поверхности карьеров или их участков, приобретают в случаях, когда имеют место активные деформации карьерных откосов, исключая применение обычных методик наблюдений в отсутствие безопасного доступа к исследуемому участку. В нашем случае, с точки зрения техники безопасности выполнения геодезических работ, невозможен доступ на северный борт карьера и поэтому было принято решение применить лазерное сканирование. Точность получения параметров съемки определяется расстоянием между прибором и снимаемым объектом. Расстояние между прибором и снимаемым бортом карьера, соответствовала нормальным параметрам съемки.

Система наблюдений с использованием лазерного сканера была установлена на верхней бровке устойчивого борта карьера, которая гарантирует стабильность наблюдательного опорного пункта. Если же применять электронный тахеометр, то необходим еще один устойчивый ориентирный пункт.

Для систематических высокоточных инструментальных наблюдений за состоянием бортов карьера месторождения на южном борту карьера были заложены и установлены два «пилон». Пилоны предназначены для высокоточных инструментальных наблюдений за состоянием бортов карьера (рис. 5).



Рис. 5. Система наблюдений на карьере «Кентобе»

Сканирование производилось сканером Leica HDS-8800. Результатом лазерного сканирования является облако точек, полученное с двух участков борта карьера.

Анализ полученных данных сканов и их наложение друг на друга производился с использованием программ Maptek I-Site Studio. На рис. 6 приведен результат наложения двух последних серий наблюдений, а на рис.7 приведено облако точек северо-западного и северо-восточного участков [18–19].

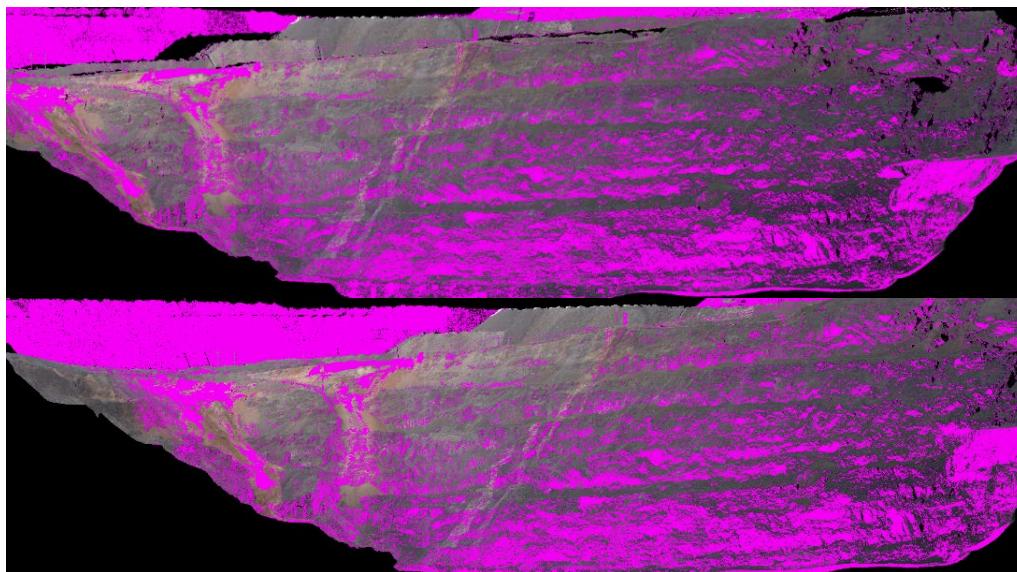


Рис. 6. Наложение двух сканов северо-западного участка борта карьера (март-октябрь), март – розовое

На рисунках 6 и 7 видны розовые области, представляющие изменения положения откосов уступов в связи с ведением горных работ. Для более детального мониторинга состояния бортов необходимо усилить контроль за ведением горных работ на нижних горизонтах этих участков.

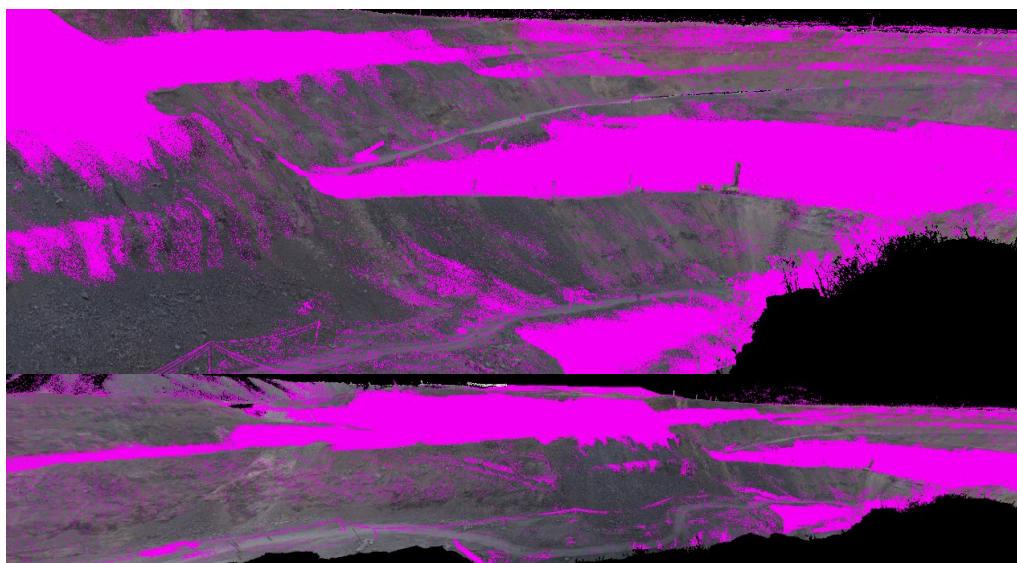


Рис. 7. Наложение двух сканов северо-восточного участка борта карьера (март-октябрь), март – розовое

## *Анализ результатов*

Получение цифровой модели прибортовых массивов карьера позволяет создать электронную базу, с использованием которой в дальнейшем, при необходимости, для решения маркшейдерских и геомеханических задач можно произвести определение геометрических параметров отдельных элементов откосов уступов и массива с помощью программного комплекса «Maptek I-SiteStudio» [20–22].

В результате проведенных инструментальных геодезических измерений на исследуемых постах наблюдательных станций и последующей камеральной обработке полевого материала были получены данные о деформационном состоянии земной поверхности [22, 23].

С целью дальнейшего проведения деформационного мониторинга прибортовых массивов планируется создать на карьере опорное обоснование, предназначенное для

- сканирования бортов карьеров и построения цифровой модели существующего карьера;
- обеспечения по существующим наблюдательным станциям высокоточного инструментального контроля состояния откосов, уступов и бортов карьера, а также отвала;
- разработки мер с целью ликвидации оползневых явлений в глинистых породах.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. – Л.: ВНИМИ, 1972. – 165 с.
2. Временные методические указания по управлению устойчивостью бортов карьеров цветной металлургии. – М.: Гипроруда, 1989. – 128 с.
3. 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. – № 39.
4. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. – М.: Недра, 1965. – 378 с.
5. Баклашов И.В. Деформирование и разрушение породных массивов. – М.: Недра, 1988. – 271 с.
6. Попов И.И., Окатов Р.П., Низаметдинов Ф.К. Механика скальных массивов и устойчивость карьерных откосов. – Алма-Ата, 1986. – 256 с.
7. Чанышев А.И. Построение паспортных зависимостей горных пород в допредельной и запредельной областях деформирования // ФТПРПИ. – 2002. – № 5. – С. 26–31.
8. Долгонос В.Н., Шпаков П.С., Низаметдинов Ф.К., Ожигин С.Г., Ожигина С.Б., Старостина О.В. Аналитические способы расчета устойчивости карьерных откосов. – Караганда: Соната -Полиграфия, 2009. – 339 с.
9. Свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права № 126 от 26 января 2015 г. "Устойчивость карьерных откосов" (программа для ЭВМ) / С.Г. Ожигин, С.Б. Ожигина, П.С. Шпаков, Ф.К. Низаметдинов и др.
10. Галустьян Э.Л. Геомеханика открытых горных работ. – М.: Недра, 1992. – 272 с.
11. Демин А.М. Устойчивость открытых горных выработок и отвалов. – М.: Недра, 1973. – 232 с.



12. Попов И.И., Окатов Р.П. Борьба с оползнями на карьерах. – М.: Недра, 1980. – 239 с.
13. Курленя М.В., Барышников В.Д., Гахова Л.Н. Развитие экспериментально-аналитического метода оценки устойчивости горных выработок // ФТПРПИ. – 2012. – № 4. – С. 20–28.
14. Багдасарьян А.Г., Сытенков В.Н. К вопросу об изменении устойчивости бортов с увеличением глубины карьера // ФТПРПИ. -2014. – № 1. – С. 75–80.
15. Бесимбаева О.Г., Хмырова Е.Н., Низаметдинов Ф.К., Олейникова Е.А. Оценка и прогноз устойчивости бортов карьера “Кентобе” // ФТПРПИ. -2018. -№ 6. – С. 120–126.
16. Бесимбаева О.Г., Хмырова Е.Н., Олейникова Е.А., Бесимбаев Б.А. Использование сейсмомониторинга для оценки состояния устойчивости прибортового массива // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. Т. 1. № 2. С. 146–150.
17. Низаметдинов Ф. К., Хмырова Е. Н., Бесимбаева О. Г., Низаметдинов Н. Ф., Олейникова Е. А. Использование технологии лазерного сканирования для наблюдения за состоянием устойчивости прибортовых массивов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. Т. 1, № 2. – С. 156–160.
18. Хмырова Е.Н., Бесимбаева О.Г., Олейникова Е.А., Токкужин Е.А. Исследование процесса деформирования прибортового массива качарского карьера на основе внедрения инновационных технологий // Горные науки и технологии. 2016. № 4. С. 10–20.
19. Хмырова Е. Н., Бесимбаева О. Г., Олейникова Е. А., Имранова Н. А., Синяк Р. В. Решение горно-геометрических задач с использованием программ 3D-моделирования на месторождениях Казахстана // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. Т. 1, № 2. – С. 175–180.
20. Бесимбаева О.Г., Хмырова Е.Н., Бесимбаев Н.Г. Анализ точности инструментальных наблюдений // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2014. № 5. С. 15–18.
21. Низаметдинов Ф. К. Состояние и перспективы развития геометрического обеспечения открытых горных работ / [Хмырова Е. Н., Ожигин С. Г., Низаметдинов Ф. К. и др.] // XV International ISM Congress (Deutscher Markscheider-Verein e.V.-DMV – Aachen, 2013. – Сб. материалов. – С. 338–349.
22. Комиссаров А. В. Обоснование направлений использования данных цифровой съемки при наземном лазерном сканировании // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 1 (33). – С. 95–100.
23. Наземное лазерное сканирование : монография / В. А. Середович, А. В. Комиссаров, Д. В. Комиссаров, Т. А. Широкова. – Новосибирск : СГГА, 2009. – 261 с.

© О. Г. Бесимбаева, Ф. К. Низаметдинов, Е. А. Олейникова, 2020