

## **ПРАКТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ В НАБЛЮДЕНИЯХ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ БОРТОВ КАРЬЕРОВ**

***Фарит Камалович Низаметдинов***

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

***Елена Алексеевна Олейникова***

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

***Алексей Александрович Нагибин***

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, пр. Нурсултана Назарбаева, 56/2, ст. преподаватель кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (7212)56-26-27, e-mail: alex\_e1@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 в Акмолинской области. 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 полученных 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.

## **PRACTICE OF USE OF LASER SCANNING TECHNOLOGIES FOR OBSERVATIONS OF DEFORMATIONS OF WALLS**

***Farit K. Nizametdinov***

Karaganda State Technical University, 56/2, Prospect Nursultan Nazarbayev St., 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

*Alexey A. Nagibin*

Karaganda State Technical University, 56/2, Prospect Nursultan Nazarbayev St., Karaganda, 100027, Kazakhstan Republic, Senior Lecturer, Department of Mine Surveying and Geodesy, phone: (7212)56-26-27, e-mail: alex\_e1@mail.ru

The article discusses the use of laser scanning technology for observing the deformations of pit walls in iron ore deposits. To carry out observations and analysis of the results obtained, an iron ore quarry in the Akmola region was selected. The task of the study is to summarize the 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 of the analysis of the obtained measurement results, a digital model of the quarry near-surface arrays was obtained, which allows you to create 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 Атансор расположено в Енбекшильдерском районе Акмолинской области в 80 км от г. Степногорск. Разработкой данного месторождения занимается компания ArcelorMittal.

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, тектоническими нарушениями в залегании, месторождение считается довольно сложным, неоднородным [1–3].

Разработка ведется наиболее эффективным открытым способом. Выемочно-погрузочные работы осуществляются экскаваторами вместимостью ковша 4,1 и 5,5 м<sup>3</sup>. При транспортировке руды, пород от вскрышных работ применяются автосамосвалы БелАЗ и Komatsu. Отвалообразование проводится при участии бульдозеров. Для складирования и усреднения руд применяются погрузчики. Угол откосов уступов карьера в коренных породах 60–65°. Глубина карьера на данный момент составляет порядка 100 м (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид карьера «Атансор»

Месторождение Атансор приурочено к эффузивно-осадочной толще среднего-позднего ордовика, прорванной Атансорской диорит-гранодиоритовой интрузией. Все железорудные тела располагаются в скарновой зоне (скарновый тип месторождения). Разрывные нарушения имеют взбросо-сбросовый типы северо-восточного, субширотного и субмеридионального направлений. По вещественному составу, структурно-текстурным особенностям и физическим свойствам руды месторождения подразделяются на: первичные магнетитовые, окисленные мартитовые и полумартитовые. Первичные и мартитовые разделяются достаточно четко. На долю первичных руд приходится почти 70 %, окисленных – 25 % и полуокисленных – 5 % общих запасов месторождения. Как показали разведочные работы, коры выветривания (включающие мартитовые руды) начинаются с поверхности и распространяются на глубину более 150 м. Развитие процессов окисления на глубину контролировалось зонами поздних пострудных разрывных нарушений, в результате чего была сформирована линейно-площадная кора выветрелых и окисленных руд, развитая до глубины 130–150 м [4–6].

Гидрогеология района месторождения Атансор относительно простая. Редкие колодцы обладают малым дебитом и с трудом обеспечивают небольшой поселок питьевой водой. К осени они обычно пересыхают. Уровни подземных вод, отражая изменения метеоусловий, испытывают сезонные и годовые колебания. Минимальное положение его отмечается с января до конца марта. С началом снеготаяния отмечается резкий подъем уровня, продолжающийся до середины – конца мая [7, 8].

### *Проведение наблюдений*

Производство инструментальных наблюдений на карьере имеет важное значение для безопасной отработки месторождения полезного ископаемого.

В 2018 г. сотрудники кафедры Маркшейдерского дела и геодезии (КарГТУ) производили инструментальные наблюдения за устойчивостью бортов карьера [9, 10] (рис. 2).



Рис. 2. Сотрудники КарГТУ при выполнении НИР вместе с маркшейдерами карьера «Атансор»

Заложены наблюдательные станции, на выявленных наиболее опасных двух глинистых участках, в виде металлических реперов по профильным линиям в количестве 17 шт. на западном борту карьера и на юго-западном борту в количестве 19 шт., что служит основой для изучения процесса деформирования глинистых прибортовых откосов. К тому же, первая станция включает в себя три профильные линии с четырьмя реперами каждая и одним опорным в виде тригоапункта «Поселковый» и площадной станцией на оползневом теле [11, 12]. Вторая же станция включает в себя три профильные линии с опорным репером за пределами зоны возможного сдвижения и контролируемого с тригопункта «Поселковый». Рабочие репера заложены по трем профильным линиям с земной поверхности (отметка +274 ... +270 м) и на бермах безопасности попарно на горизонтах 267, 260,7 и 245 м. В каждой линии по 5–9 реперов.

На протяжении года проведены 4 серии высокоточных наблюдений за сдвигами по заложенным профильным линиям. При этом методика высокоточных измерений основана на использовании электронного тахеометра LeicaTCR1202 в комплекте с отражателями и рациональной схемой наблюдения.

Результаты анализа смещений прибортового массива в районе станции № 1 показывают, что на земной поверхности происходят незначительные оседания приоткосной зоны в пределах 10–17 мм, а оползневое тело (внизу глинистого откоса) перемещается до – 41 мм, что соответствует скорости смещения до 0,6 мм/сутки. В основном это связано с появлением воды, вследствие происходящих ливневых дождей. Этому способствует характер рельефа местности – понижение отметки земной поверхности на данном участке. Одна из эффективных мер – следует изолировать прибортовой массив от воды или отвести потоки собирающейся воды от этого района [13].

Результаты анализа смещений прибортового массива в районе станции № 2 показывают, что прибортовой массив, сложенный глинистыми породами, в целом находится в устойчивом состоянии, так как смещения реперов колеблются в пределах от  $\pm 2$  до  $\pm 8$  мм (ошибка измерения колеблется в пределах точности измерений). Однако, появление в близлежащем районе локальной деформации следует связать с постоянной подпиткой дождевой и талой водой с верхнего горизонта +267 м до транспортной бермы (гор. +242 м) (скоплением воды на этом участке). Этому свидетельствует наличие на верхних глинистых откосах деформации в виде эрозии (промоины в откосах от действия воды). Скопление воды на этом участке происходит вследствие появления обратных уклонов на бермах безопасности [14, 15]. Уклон поверхности на бермах безопасности должен быть соблюден в сторону выездной траншеи, т. е. вода должна уходить не на глинистый откос и делать «лога» в виде эрозии, а течь в сторону выездной траншеи (следует выполнить планировку бERM безопасности или сделать организованный спуск воды по специальным лоткам в виде половинок пластиковых труб).

На юго-восточном борту карьера имеется оползень глинистых отложений верхних уступов (год образования – 2009), контур которого точно не был определен, так как на данном участке имеется много труднодоступных участков.

В июле было проведено лазерное сканирование тела данного оползня для получения более полной информации о его форме (рис. 3, 4).



Рис. 3. Оползень уступов, сложенных глинистыми породами на юго-западном борту карьера

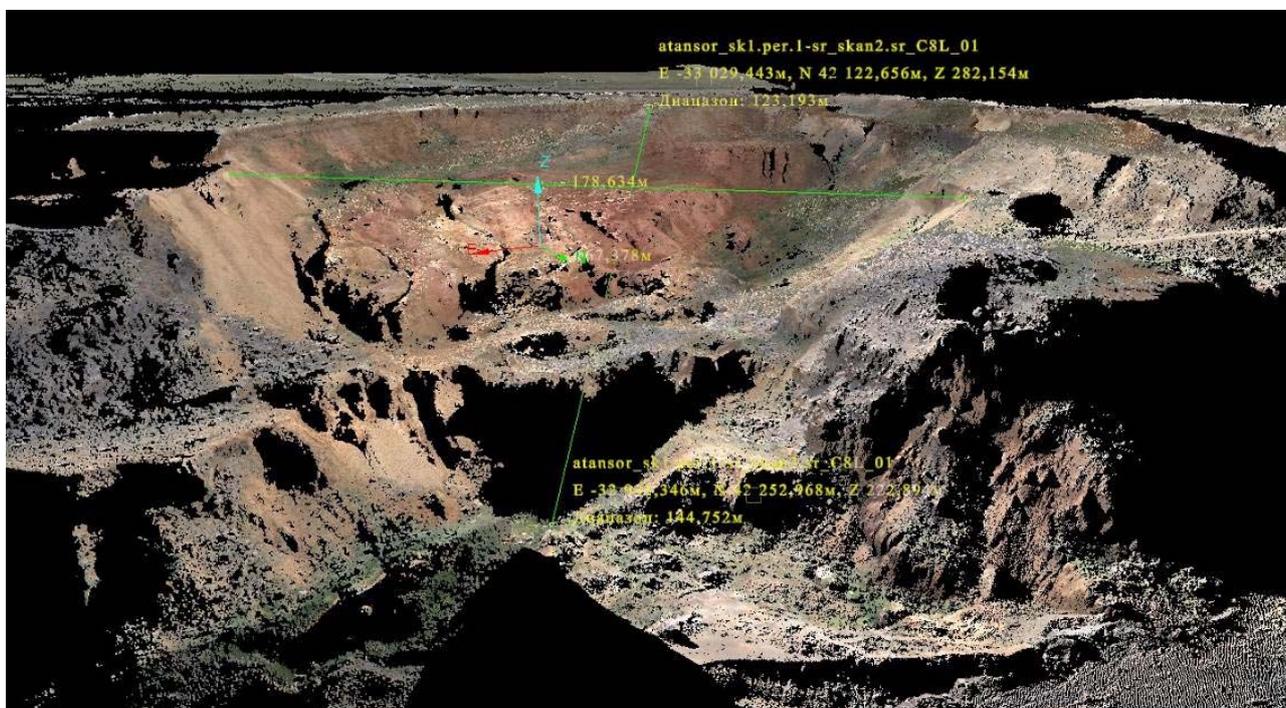


Рис. 4. Трехмерная модель обрушенной части верхних глинистых уступов юго-западного борта

Также было выполнено сканирование рабочего борта карьера и отдельного его участка для более подробного изучения трещиноватости массива [16, 17]. На нерабочем борту был также отсканирован участок транспортного съезда.

### *Анализ результатов*

Получение цифровой модели прибортовых массивов карьера позволяет создать электронную базу, по которой в дальнейшем при необходимости можно произвести замер отдельных элементов откосов уступов и массива с помощью программного комплекса «Maptek I-SiteStudio» для решения маркшейдерских и геомеханических задач [18].

В результате проведенных инструментальных геодезических измерений на исследуемых постах наблюдательных станций и камеральной обработке полевого материала становятся доступны данные о современном состоянии земной поверхности [19, 20].

В дальнейшем, планируется создать на карьере опорное обоснование для сканирования прибортовых массивов;

- сканировать борта карьера и построить цифровую модель существующего карьера;
- продолжить по существующим наблюдательным станциям высокоточный инструментальный контроль состояния откосов уступов и бортов карьера и отвала;
- разработать для карьера меры 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 г. – № 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. Аналитические способы расчета устойчивости карьерных откосов / В. Н. Долгонос, П. С. Шпаков, Ф. К. Низаметдинов, С. Г. Ожигин, С. Б. Ожигина, О. В. Старостина. – 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. Курленья 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. Оценка и прогноз устойчивости бортов карьера «Кентобе» / О. Г. Бесимбаева, Е. Н. Хмырова, Ф. К. Низаметдинов, Е. А. Олейникова // ФТПРПИ. – 2018. – № 6. – С. 120–126.
16. Использование сейсмомониторинга для оценки состояния устойчивости прибортового массива / О. Г. Бесимбаева, Е. Н. Хмырова, Е. А. Олейникова, Б. А. Бесимбаев // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 2. – С. 146–150.
17. Использование технологии лазерного сканирования для наблюдения за состоянием устойчивости прибортовых массивов / Ф. К. Низаметдинов, Е. Н. Хмырова, О. Г. Бесимбаева, Н. Ф. Низаметдинов, Е. А. Олейникова // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 2. – С. 156–160.
18. Исследование процесса деформирования прибортового массива качарского карьера на основе внедрения инновационных технологий / Е. Н. Хмырова, О. Г. Бесимбаева, Е. А. Олейникова, Е. А. Токкужин // Горные науки и технологии. – 2016. – № 4. – С. 10–20.
19. Решение горно-геометрических задач с использованием программ 3D-моделирования на месторождениях Казахстана / Е. Н. Хмырова, О. Г. Бесимбаева, Е. А. Олейникова, Н. А. Имранова, Р. В. Синяк // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 2. – С. 175–180.
20. Бесимбаева О. Г., Хмырова Е. Н., Бесимбаев Н. Г. Анализ точности инструментальных наблюдений // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 5. – С. 15–18.

© Ф. К. Низаметдинов, Е. А. Олейникова, А. А. Нагибин, 2019