

## **РЕЗУЛЬТАТЫ МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ БОРТОВ АПСАТСКОГО УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА**

### ***Владимир Павлович Ступин***

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, доктор технических наук, профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (964)103-08-17, e-mail: Stupinigu@mail.ru

### ***Евгений Николаевич Беляев***

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, старший преподаватель кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (914)899-21-27, e-mail: belyaev@baigeo.ru

### ***Ирина Александровна Карпова***

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, старший преподаватель кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (914)899-21-36, e-mail: karpova\_irina@mail.ru

Описана методика и организация маркшейдерско-геодезического мониторинга бортов угольного разреза средствами лазерного сканирования. Приведены результаты наблюдений. Сделаны выводы об устойчивости бортов угольного разреза и оценены возможности использованных методов.

**Ключевые слова:** маркшейдерский мониторинг, деформации бортов угольных разрезов.

## **RESULTS OF MINE SURVEYING AND GEODESIC OBSERVATIONS ON DEFORMATIONS OF APSAT COAL CUTTING BOARDS**

### ***Vladimir P. Stupin***

Irkutsk State Technical University, 83, Lermontova St., Irkutsk, 664074, Russia, D. Sc., Professor, Department of Surveying and Geodesy, phone: (964)106-08-17, e-mail: Stupinigu@mail.ru

### ***Evgenii N. Beliaev***

Irkutsk State Technical University, 83, Lermontova St., Irkutsk, 664074, Russia, Senior Lecturer, Department of Surveying and Geodesy, phone: (914)899-21-27, e-mail: belyaev@baigeo.ru

### ***Irina A. Karpova***

Irkutsk State Technical University, 83, Lermontova St., Irkutsk, 664074, Russia, Senior Lecturer, Department of Surveying and Geodesy, phone: (914)899-21-36, e-mail: karpova\_irina@mail.ru

The methodology and organization of surveying and geodesic monitoring of the sides of a coal mine using laser scanning are described. The results of observations are presented. Conclusions about the stability of the sides of the coal mine are made and the possibilities of the methods used are evaluated.

**Key words:** surveying, deformation of coal pit sides.

## *Введение*

Апсатский угольный разрез находится в Каларском районе Забайкальского края в 40 км к северо-востоку от поселка Новая Чара на южном макросклоне хребта Кодар в бассейне ручья Угольный (правый приток реки Апсат). Месторождение угля было открыто в 1949 году. С 1961 года здесь начала работать Удоканская геологоразведочная экспедиция, целью которой было уточнить запасы угля и выделить перспективные участки для его добычи. Эти работы были продолжены во время строительства Байкало-Амурской магистрали в 1976–1980 годах. Ресурсы каменных углей коксующихся марок оцениваются в 2,2 миллиарда тонн, что составляет половину всех ресурсов каменных углей Забайкалья. Эксперты также классифицируют месторождение как углегазовое: по предварительным оценкам, в его угольных пластах сосредоточено до 55 миллиардов кубометров метана [1].

В отличие от большинства известных угольных месторождений, которым свойственно субгоризонтальное залегание пластов, угленосные отложения Апсатского месторождения выполняют синклинальную структуру (мульду) сундучного типа с крутым падением крыльев и пологим залеганием в центральной части. Угленосные толщи имеют позднеюрский-раннемеловой возраст. По степени угленасыщенности в них выделяют два горизонта – нижний и верхний с расстоянием между ними до 1000 м. Нижний горизонт включает от 7 до 16 рабочих угольных пластов, характеризующихся простым строением и резко изменчивой мощностью, достигающей 10–18 м. Верхний горизонт содержит до трех рабочих пластов с мощностью от 0,7 до 6,5 м [2].

Всерьез разработкой угля Апсатского месторождения начала заниматься компания ООО «Арктические разработки», входящая в состав СУЭК. Эта компания в 2008 году выиграла аукцион и с 2011 года приступила к разработке месторождения.

Апсатский разрез по-своему уникален, так как расположен в горах и разрабатывается по методике «сверху – вниз», в отличии от обычной практики добычи «снизу вверх», то есть многометровая толща вскрыши убирается посредством направленного взрыва, и вскрытые таким образом пласты угля бульдозеры и экскаваторы загружают на самосвалы.

Условия разработки месторождения крайне неблагоприятны. Горный глубокорасчлененный рельеф, сложное геологическое строение, «живая тектоника», высокая сейсмичность, наличие мощной многолетней мерзлоты, повсеместное распространение опасных геологических процессов (морозного выветривания, осыпей, обвалов, скальных оползней и т.д.) делают производство горных работ достаточно непростым и весьма опасным.

В перечисленных условиях особенно высокие требования предъявляются к оперативности, точности и качеству мониторинга устойчивости элементов угольного разреза, в целом, и деформаций его бортов, в частности [3–13].

Настоящая работа посвящена вопросам методики, организации, проведения и интерпретации результатов маркшейдерско-геодезического мониторинга деформации бортов разреза «Апсатский» методами лазерного сканирования.

### *Методы и материалы*

Маркшейдерско-геодезический мониторинг деформаций бортов разрез был организован согласно программе, которая предусматривала два этапа полевых работ:

– определение координат наблюдательных станций и опорных марок методом спутникового позиционирования с целью выполнения инструментальных наблюдений;

– выполнение инструментальных наблюдений на разрезе методом лазерного сканирования.

Камеральный этап включал обработку результатов полевых наблюдений и их интерпретацию.

Работы начинались со сбора вспомогательной информации, схем, чертежей, картографических материалов. На основании маркшейдерско-геодезических карт и планов были получены представления о характере рельефа и расположении пунктов ГГС относительно участка работ.

Далее проводилась рекогносцировка объекта, во время которой выполнялась визуальная оценка объекта, уточнение его границ, а также оценка возможности проведения спутниковых и линейно-угловых наблюдений. На основании рекогносцировки района работ была определена методика проведения инструментальных наблюдений и составлена программа работ.

В ходе рекогносцировки было выяснено, что для сканирования борта разреза необходимо определить координаты наблюдательных станции (точек установки сканера). Основным требованием к размещению скан-позиций являлась прямая и четкая видимость всех горных выработок и элементов, подлежащих съемке.

Методы спутникового позиционирования при маркшейдерском обеспечении открытых горных работ применяются уже достаточно давно и по отработанным методикам [14–17]. Помимо координат наблюдательных станций спутниковыми методами определялись координаты опорных марок, необходимые для вычисления элементов внешнего ориентирования сканера и ориентирования облаков точек, полученных при сканировании на каждой скан-позиции, между собой в одну систему координат. Отражающие марки устанавливались на специальных вехах, закрепленных биподами.

Координирование наблюдательных станций и опорных марок было выполнено с пунктов съемочного обоснования с использованием GPS приемников TRIMBLE R8-III.

Работа на наблюдательных станциях выполнялась в режиме «статика» под условием, чтобы GNSS приемники, установленные на исходных и определяемых пунктах, одновременно собирали данные со всех видимых в данной местности

спутников. Статический метод измерений является самым высокоточным из любых других методов GNSS съемки. Это в основном связано с увеличенным временем сбора измерений, а, следовательно, с большим объемом информации, необходимой для позиционирования. Сбор данных на пунктах продолжался в течение времени, зависящего от расстояния между приемниками, конфигурации и числа спутников, наличия препятствий, оказывающих влияние на сбор данных (деревья, здания, горы и так далее, блокирующие часть неба).

Спутниковые измерения были выполнены сеансами (сессиями) с длительностью синхронных наблюдений парой приемников на пунктах, образующих пространственный вектор, не менее тридцати минут. При этом особое внимание уделялось выбору наиболее благоприятных интервалов времени, когда обеспечивалась одновременная видимость 10-ти спутников.

После окончания сбора данных измерения переносились с приемников на компьютер для постобработки с помощью программы Trimble Business Center.

Все координатные определения выполнялись в условной системе координат и Балтийской 1977г. системе высот.

В последние годы в маркшейдерско-геодезическое производство все шире внедряются методы лазерного сканирования [18–20]. Поэтому и повторные съемки труднодоступного борта угольного разреза были выполнены с использованием наземной лазерной сканирующей системы RIEGL Z-420i (рис. 1) с параметрами: L – 950 м, частотный диапазон 150 kHz, t – 24 мин и фиксацией последнего отражения с максимальными угловыми развертками. Управление сканированием и трансформация системы координат сканера осуществлялось программным обеспечением RISCAN PRO и Micro Station.



Рис. 1. Сканер RIEGL Z-420i на фоне объекта работ

Сканирование на каждой станции было осуществлено в два этапа – сначала выполнялось сканирование с высокой плотностью (рис. 2), а затем производилось распознавание отражающих марок.

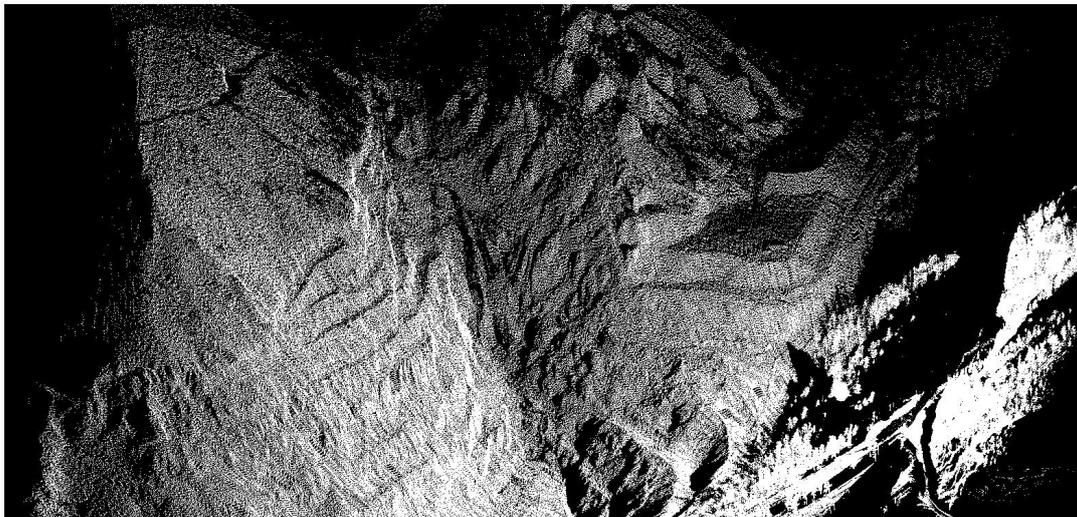


Рис. 2. Скан – облако точек лазерных отражений

Полученные сканы были трансформированы в принятую на объекте работ систему координат. Трансформация облака точек осуществлена в программе RISCAN PRO с предельной ошибкой, не превышающей 1–2 см.

В случае превышения допустимых ошибок координаты марок переопределялись, либо выполнялось повторное сканирование. Трансформация облака точек в систему координат, принятую на объекте работ, осуществлялась при помощи координат отражающих марок под условием, чтобы для каждой отражающей марки были определены координаты в двух системах:

- в системе координат, принятой на объекте работ;
- в условной системе координат сканера.

Файлы с координатами марок в системе координат, принятой на объекте работ (файл глобальных координат), создавались по результатам координирования марок с пунктов съемочного обоснования.

Файлы марок в условной системе координат сканера создавались в результате второго этапа сканирования на станции (распознавание марок).

Условия трансформации задавались предельной погрешностью трансформации (не более 3 см) и минимумом марок, по которым осуществлялась трансформация (не менее 4).

На объекте было использовано избыточное количество марок, что позволило исключить погрешности, оказывающие наибольшее отрицательное влияние и свести ошибки трансформации к минимуму.

Итогом процесса трансформации стали сканы (облака точек), каждая точка которых была определена в единой системе координат. После чего сканы объединялись между собой в единое облако точек по всему объекту.

Трансформированные облака точек, по своей сути, уже являются цифровой моделью, имеющих реальные 3D координаты, в принятой условной системе координат проекта. Модель рельефа, построенная при постобработке в Micro Station, имела среднюю плотность 9 точек на 1м<sup>2</sup>. Такая плотность позволяет получить полноценное представление о фактических геометрических параметрах элементов рельефа.

Дальнейшая обработка производилась в среде AutoCAD Civil 3D и заключалась в трехмерном моделировании форм рельефа (рис. 3). Основой для построения модели послужили данные наземного лазерного сканирования.

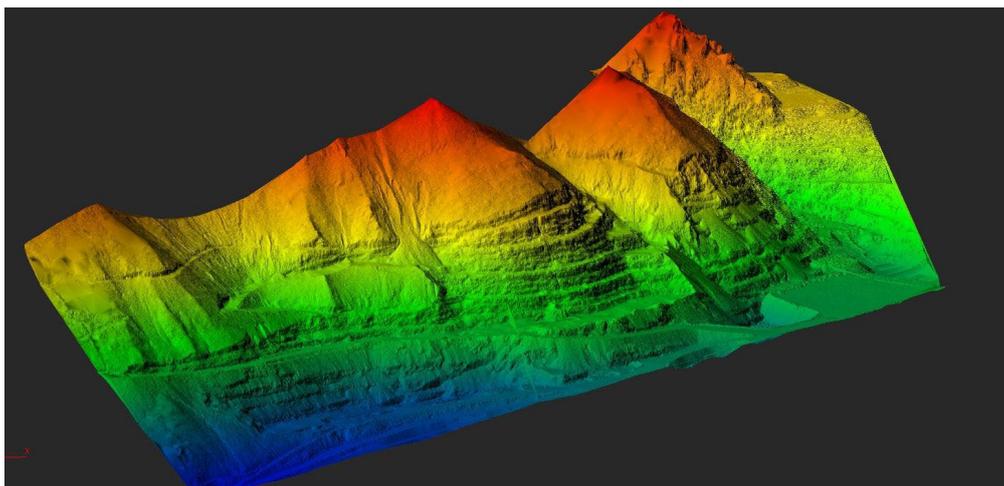


Рис. 3. 3D модель борта разреза

Полевой контроль полноты осуществлялся методом сличения готового к передаче материала с местностью. При этом фиксировались как факты недостатка информации (пробелы), так и факты избыточности информации.

Покрытие объекта контролировалось по сводному файлу разреженных точек лазерных отражений со всех сканов.

Контроль проводился на каждом этапе работ, поскольку процесс моделирования достаточно длительный и ошибки могут быть выявлены лишь через некоторое время после окончания съемок. Точность определения опорных марок также контролировалась.

### *Результаты*

Для определения деформаций и смещений бортов разреза по данным повторного наземного лазерного сканирования было произведено сравнение цифровых моделей рельефа, построенных по результатам 26 этапов сканирования, выполненных с 2017 по 2019 год. Сравнение поверхностей, полученных на каждом этапе, производилось в AutoCAD Civil 3D. Для этого по получившимся поверхностям через каждые 5 метров были построены разрезы и выполнен их сравнительный анализ. Разрезы по поверхностям предоставлены в формате dwg.

## Заключение

По результатам повторных наблюдений, выполненных с 2017 по 2019 годы, на борту угольного разреза «Апсатский» критических деформаций не выявлено. За все время наблюдений отмечены лишь небольшие осыпания горной массы в мае и июне 2017 года, возникшие по причине таяния снега и обильных осадков в этот период. После выявления опасных участков, руководством предприятия были проведены мероприятия для обеспечения безопасного ведения горных работ. Естественно, что существенные изменения рельефа, которые не идентифицировались как деформационные, наблюдались в местах, где производились горные и буро-взрывные работы и осуществлялись техногенные перемещения пород.

По итогам выполненных работ, можно также сделать вывод, что методы наземного лазерного сканирования позволяют получать оперативную, достоверную, полную и точную информацию о состоянии и деформациях бортов угольных разрезов. Очевидна также экономия материальных и, особенно, временных ресурсов при выполнении маркшейдерско-геодезических работ.

Кроме того, применение методов наземного лазерного сканирования является одним из наиболее безопасных способов проведения инструментальных наблюдений при съемке труднодоступных и опасных объектов.

Таким образом, при регулярных наблюдениях, описанная выше методика может служить надежной основой для ведения маркшейдерско-геодезического мониторинга в опасных зонах горнодобывающих работ.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Апсатское каменноугольное месторождение. URL: <https://nedradv.ru/nedradv/invetsp/?obj=c1aa75568145898d9a4fe5dae70022c4>.
2. Апсатское угольное месторождение. URL: <http://www.geokniga.org/geowiki>.
3. Инструкция по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03) Серия 07. Выпуск 15. – М. : ФГУП НТЦ, 2004. – 120 с.
4. Инструкция по наблюдению за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. – Л. : ВНИМИ, 1971. – 187 с.
5. Методические указания по наблюдениям за деформациями бортов разрезов и отвалов, интерпретации их результатов и прогнозу устойчивости. – Л. : ВНИМИ, 1987. – 118 с.
6. Правила охраны недр ПБ 07-601-03. Госгортехнадзор России. 2003г.
7. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах. – СПб, 1998. – 208 с.
8. Мозер Д. Геомеханический мониторинг за состоянием карьерных откосов. – Издательский Дом : LAPLAMBERT Academic Publishing, 2011. – 124 с.
9. Агарков И.Б. Годовников Н.А. Применение методики количественной оценки степени гладкости откосов уступов карьера для выявления потенциально опасных с точки зрения устойчивости его участков // Научные ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки. – 2015. – №21(218), вып.33. – С. 137-142.
10. Черкашин С.Г., Дроздов А.В., Мельников А.И. Оценка состояния бортов карьера «Нюрбинский» по результатам гидрогеомеханического мониторинга // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 5-2. – С. 276-281.

11. Сапожников В.Т., Ким Д.Н., Афанасьев Б.Г. Характер деформирования бортов уральских разрезов в околопредельном состоянии // Труды ВНИМИ. – 1985. – С 64-71.
12. Мочалов А.М. Прогнозирование деформаций прибортовых массивов карьеров по результатам наблюдений и моделирования откосов // Труды ВНИМИ. – 1991. – С. 119-124.
13. Туринцев Ю.И. Геомеханические основы прогноза устойчивости карьерных откосов // Известия вузов. Горный журнал. – 1992.– № 9. – С.84-87.
14. Генике А.А., Побединский Г.Г. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применение в геодезии. – М. : Картгеоцентр, 2004. – 355 с.
15. ГКИНП 02-262-02 Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS.
16. Методические указания по созданию, контролю и реконструкции маркшейдерско-геодезических сетей на горных предприятиях с использованием спутниковой аппаратуры. – СПб: ВНИМИ, 1997. – 38с.
17. Серапинас Б.Б. Глобальные системы позиционирования: – М. : ИКФ «Каталог», 2002. – 106 с.
18. Панжин А.А. Повышение надежности пространственного позиционирования в условиях крупных карьеров // Горный журнал. – 2011. – №7. – С. 85-88.
18. Аникушкин М. Н. Наземные системы лазерного сканирования. Опыт работ // Геопрофи. – 2005. – № 1. – С. 49–50.
19. Комиссаров А. В. Точность построения цифровой модели рельефа по данным наземного лазерного сканирования // Материалы конф. Междунар. промышл. форума GEOFORM+ «Геопространственные технологии и сферы их применения». – М., 2006. –С. 47–48.
20. Комиссаров, А. В. Лазерное сканирование: обобщение существующей практики // Инженерные изыскания. – 2013. – № 2. – С. 22-25.

© В. П. Ступин, Е. Н. Беляев, И. А. Карпова, 2020