

Использование (опыт тестирования) георадара на участке строительства крутонаклонного конвейерного комплекса на южном карьере Михайловского ГОКа им. А.В. Варичева

Р.И. Исмагилов¹, А.Г. Захаров², Б.П. Бадтиев¹, Н.В. Сенин² ✉, А.А. Павлович³, А.С. Свириденко³

¹ ООО УК «Металлоинвест», г. Москва, Российская Федерация

² АО «Михайловский ГОК им. А.В. Варичева», г. Железногорск, Российская Федерация

³ Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ glmarksh@mgok.ru

Резюме: В настоящее время наземные георадары с синтезированной апертурой используются на международном уровне в качестве передового инструмента как для обеспечения контроля за устойчивостью бортов в местах с повышенным риском проявления деформационных процессов, так и для мониторинга бортов в целом для выявления опасных зон. Успех этой технологии основывается главным образом на способности радаров вести наблюдения с субмиллиметровой точностью в режиме реального времени на обширных территориях практически при любых погодных условиях. Наземные радарные технологии являются относительно молодыми (по сравнению с традиционными методами ведения мониторинга), однако уже зарекомендовали себя весьма успешно для контроля за устойчивостью бортов карьеров, их участков и уступов. В России георадары используются пока еще не так активно, как за границей, однако с каждым годом число предприятий, использующих интерферометрические радары, увеличивается. В статье приведены некоторые примеры зарубежного и отечественного опыта использования радарных установок. Основное внимание уделено опыту тестирования георадара IBIS-FM при ведении мониторинга за бортом карьера, на котором осуществляется строительство дробильно-конвейерного комплекса в пределах территории предприятия АО «Михайловский ГОК». Кратко освещены условия, в которых проводились тестовые испытания радара, а также показаны основные выявленные достоинства и недостатки применения технологии в данных условиях.

Ключевые слова: наземная радарная интерферометрия, мониторинг устойчивости бортов карьеров, георадар IBIS FM, Михайловский ГОК, дробильно-конвейерный комплекс

Для цитирования: Исмагилов Р.И., Захаров А.Г., Бадтиев Б.П., Сенин Н.В., Павлович А.А., Свириденко А.С. Использование (опыт тестирования) георадара на участке строительства крутонаклонного конвейерного комплекса на южном карьере Михайловского ГОКа. *Горная промышленность*. 2020;(3):84–90. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-3-84-90.

Experience of Using (Testing) Ground Penetrating Radar on Construction Site for Steeply Inclined Conveyor Complex in Southern Pit of Andrei Varichev Mikhailovsky GOK

R.I. Ismagilov¹, A.G. Zakharov², B.P. Badtiev¹, N.V. Senin² ✉, A.A. Pavlovich³, A.S. Sviridenko³

¹ AO Holding Company METALLOINVEST, Moscow, Russian Federation

² Andrei Varichev Mikhailovsky GOK, Zheleznogorsk, Russian Federation

³ Saint Petersburg Mining University, St Petersburg, Russian Federation

✉ glmarksh@mgok.ru

Abstract: Ground penetrating synthetic aperture radars are currently used worldwide as an advanced tool both for monitoring wall stability in areas of high deformation risks and for general monitoring of walls to identify hazardous areas. The success of this technology is primarily based on the capability of radars to perform real-time monitoring of vast areas with submillimeter accuracy in almost all weather conditions. Ground-based radar technologies are relatively new (as compared to traditional monitoring methods), but have already proven to be very efficient in controlling the stability of open pit walls, their sections and benches. Georadars are not yet as actively used in Russia as in other countries, but the number of companies that employ interferometric radars is increasing from year to year. The paper provides some examples of international and domestic experience in using the GPR systems. The main focus is given to the experience of the IBIS-FM GPR testing while monitoring the open pit wall where construction of a crushing and conveyor complex is done on the territory of PAO Mikhailovsky GOK. The radar testing conditions are briefly described, and the main advantages and disadvantages of using this technology in such conditions are indicated.

Keywords: ground-based radar interferometry, monitoring of open pit wall stability, IBIS FM ground penetrating radar, Mikhailovsky mining and processing complex (GOK), crushing and conveyor complex

For citation: Ismagilov R.I., Zakharov A.G., Badtiev B.P., Senin N.V., Pavlovich A.A., Sviridenko A.S. Experience of Using (Testing) Ground Penetrating Radar on Construction Site for Steeply Inclined Conveyor Complex in Southern Pit of Mikhailovsky GOK. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2020;(3):84–90. (In Russ.) DOI: 10.30686/1609-9192-2020-3-84-90.

Введение

Анализ оползней и обрушений показывает, что наиболее часто деформации фиксируются либо по результатам визуальных наблюдений путем выявления трещин, просядок и выпоров, либо уже по последствиям деформации – концентрации на бермах разрыхленной горной массы, повреждению горного оборудования или ответственного сооружения. Имеют место случаи, когда не удается своевременно по результатам инструментальных наблюдений выявить на ранней стадии процесс деформирования откосов и оперативно предпринять те или иные мероприятия для повышения безопасности.

Освоение месторождений, разрабатываемых открытым способом, все в более сложных условиях приводит к необходимости поиска решений по сокращению затрат. Одним из таких решений является сокращение вскрышных работ путем увеличения углов наклона бортов карьеров либо проведение горных работ в режиме управляемых или допустимых деформаций [1–4]. Данные решения, с одной стороны, открывают возможности для получения дополнительной прибыли [5], с другой стороны, приводят к повышению рисков.

В любом из рассмотренных случаев первоочередной задачей является обеспечение устойчивости бортов карьеров, участков и уступов. Оценить правильность проектных решений в части геомеханического обеспечения, разработать и своевременно реализовать противодеформационные мероприятия, а при необходимости скорректировать параметры откосов не представляется возможным без контроля за состоянием борта.

На сегодняшний день имеется большое количество различных новых технологий, внедрение в российское производство которых тем не менее происходит довольно медленно и имеет определенные трудности. Это связано прежде всего с отсутствием детальных инструкций по применению нового оборудования, методик интерпретации измерений, а также рекомендаций по выбору критериев безопасности.

В связи с этим перед внедрением новых систем (оборудования) мониторинга устойчивости откосов горным предприятиям необходимо организовывать опытные участки для испытаний.

В настоящий момент наиболее прогрессивным инструментом для мониторинга устойчивости откосов является георадар. На мировом рынке имеется лишь несколько компаний, которые реализовывают данное оборудование: IDS (Италия), входящая в корпорацию Гексагон, Groundprobe (Австралия), Routech (ЮАР, дистрибьютор в России – ГК «Цифра») и весьма редко LISA (JRC-Lisalab) и GPRI (Gamma Remote Sensing). Радары IDS компании Гексагон и Groundprobe получили наибольшее распространение в России.

Российские производители данного оборудования отсутствуют или, скорее всего, просто неизвестны специалистам горных предприятий и научным организациям.

Анализ радаров разных компаний показал, что в целом георадары по своим характеристикам, несмотря на разные технологические решения, достаточно близки между

собой. Однако они имеют принципиальные различия в работе программного обеспечения и в технической поддержке. Все эти факторы влияют на качество проведения оперативного мониторинга, от которого в конечном счете зависит принятие технических решений.

Для проведения тестовых испытаний на Михайловском ГОКе был использован георадар компании IDS (входит в группу компаний Гексагон), а объектом исследования – участок строительства крутонаклонного конвейера и прилегающие к нему территории.

Мировая практика применения радаров

Интерферометрические радары получили весьма широкое распространение по всему миру. Это связано в первую очередь с неоспоримыми преимуществами, которые предоставляют радарные системы в сравнении с другими видами измерений.

В качестве примеров горных предприятий, где радарная установка используется уже длительное время, можно выделить карьер в регионе Агурас Кларас в Бразилии [6]. Первоначально сеть мониторинга на данном карьере ограничивалась датчиками деформации, экстензометрами и установленными на откосах призмами, съемка которых велась ручным тахеометром. Мониторинг устойчивости откосов осуществлялся лишь за некоторыми доступными участками, в то время как ряд ответственных участков оставались вне зоны покрытия наблюдений. В связи с этим для повышения надежности мониторинга на данном предприятии стали применять георадар. Несмотря на непростые условия для наблюдений и обилие растительности георадар оказался полезен для понимания механизмов деформирования борта.

Другой пример, который можно привести – это месторождение железной руды в Тамандуа, также в Бразилии. Первоначально в карьере располагалась сеть из 100 измерительных призм, съемка по которым велась ручным тахеометром. В результате съемки по призмам была обнаружена деформация со скоростью смещения около 1 мм/сут, после чего было принято решение об установке радара. Итогом его использования стало принятие решения о прекращении работ в пик сезона дождей из-за возникающих величин смещений.

Одним из ярких примеров раннего прогноза оползня с использованием георадаров является событие, которое произошло 10 апреля 2013 г. (11 апреля по российскому времени) на карьере Бингем-Каньон, США (рис. 1) [7]. Карьер находится к юго-западу от города Солт-Лейк-Сити, штат Юта, и ведет разработку меднопорфирового месторождения. Глубина карьера составляет около 1200 м и охватывает площадь приблизительно 7,7 км². На карьере Бингем-Каньон в 2010 г. были установлены георадары разных компаний: IBIS-FM и Groundprobe. Два из трех радаров IBIS-FM были направлены одновременно на движущийся оползень и обнаружили первые смещения еще в феврале 2013 г. Первый сигнал тревоги IBIS-FM сделал 10 апреля в 6 утра, в то время как обрушение произошло в 9:30 вечера, примерно через 15 ч после первой тревоги. В результате



Рис. 1
Деформация на карьере Бингем-Каньон

данной деформации жертв среди людей не было, т.к. они были вовремя выведены из опасной зоны, а ее развитию во времени значительное внимание было уделено в СМИ.

Если говорить о российском опыте, то следует выделить Ковдорское месторождение, первое в России, которое стало применять радарные интерферометрические установки. На данном горном предприятии имели место локальные обрушения, и с целью их контроля начал использоваться радар компании IDS. Опыт его использования показал себя с хорошей стороны [8].

С каждым годом количество карьеров в России, которые начинают использовать георадары в повседневной практике, становится все больше, что лишний раз указывает на положительный опыт его использования. Однако его применение весьма часто начинается только после произошедших деформаций [9].

Особенности и основные принципы работы интерферометрического радара

К основным преимуществам радара относятся: высокая точность, проведение измерений на безопасном расстоянии от наблюдаемого объекта, сплошная зона покрытия, наблюдения в режиме 24/7, возможность выполнения съемки в любое время суток независимо от освещенности, в условиях облачности и тумана. Однако принцип проведения измерений георадаром отличается от принципов, используемых в традиционном маркшейдерском оборудовании.

Измерения, выполняемые радаром, основаны на использовании эффекта интерференции электромагнитных волн или, другими словами, наложения электромагнитных волн.

Радар является активным датчиком и посылает импульс в направлении земной поверхности с частотой 17,1–17,3 ГГц. Импульс взаимодействует с земной поверхностью, частично поглощается и частично отражается в сторону радара. Интерферометрический анализ позволяет получить данные о смещении объекта путем сравнения информации, собранной в разное время, о сдвиге фаз отраженного от объекта сигнала (рис. 2). Величина смещения прямо пропорциональна величине разности фаз.

Fig. 1
Landslide in the Bingham Canyon Open Pit Copper Mine

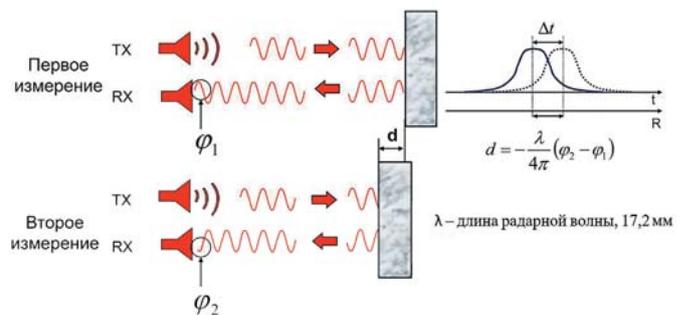


Рис. 2
Принцип измерения радаром

Fig. 2
Radar measurement principle

Высокая точность измерений достигается за счет малой длины волны, которая, с другой стороны, является и ограничением, т.е. если смещение превышает длину волны, то радар не позволяет достоверно определить величину смещения. Однако, учитывая частоту проводимых измерений длины волны радара, они являются достаточными для осуществления мониторинга за устойчивостью откосов даже при обрушении скальных массивов.

В радарах с синтезированной апертурой используется широкий луч, охватывающий весь снимаемый участок как по высоте, так и по ширине. Во время съемки сканирующее устройство перемещается в горизонтальной плоскости вдоль линейного рейла, сканируя один и тот же участок с различных положений. Во время каждого измерения отражение радарного сигнала принимается от каждого пикселя. Это отражение дает информацию об амплитуде сигнала и фазе.

Путем сопоставления фаз определяется величина смещения. Стоит отметить, что данная величина определяется в направлении линии визирования, т.е. фактически производится измерение не общего вектора смещения, а его компоненты (рис. 3).

Данные радиолокационной съемки могут представляться в двух видах:

– 1-й вид – тепловая карта, где участки сдвижений в зависимости от их интенсивности показываются в виде те-

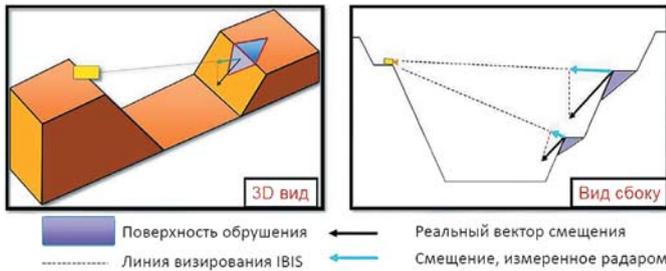


Рис. 3
Определение смещения радаром

Fig. 3
Displacement detection with radar

плых или холодных цветов. Для наглядности представляемой информации тепловая карта обычно накладывается на подгруженную цифровую модель местности (ЦММ);

– 2-й вид представления сдвижений – графики. На них, как правило, представлена зависимость от времени либо величин смещения, либо скорости сдвижений. Анализ может происходить как по отдельным точкам, так и по выделенным областям.

Общие сведения об участке мониторинга на Михайловском железорудном месторождении

Для обеспечения высокой производительности Михайловского ГОКа по добыче железной руды было принято решение о строительстве на Южном карьере дробильно-конвейерного комплекса (ДКК) с производительностью порядка 15 млн т руды в год (рис. 4).

Крутонаклонный конвейер будет одновременно расположен на скальных породах и на скальной массивной пригрузке, представленной разрыхленными окисленными кварцитами. В свое время скальная пригрузка являлась противодеформационным мероприятием для повышения устойчивости уступов, сложенных рыхлыми отложениями.

Условия строительства дробильно-конвейерного комплекса с точки зрения геомеханических условий являются сложными, а сам объект эксплуатации – повышенной ответственности.

Рис. 4
Наблюдаемый участок ДКК

Fig. 4
Observed section of the crushing and conveyor complex



В настоящий момент на данном участке осуществляется внедрение комплексной системы мониторинга, которая описана в работе [10]. Данная система включает в себя визуальные и инструментальные маркшейдерские, гидрогеологические и магнитометрические наблюдения за устойчивостью прибортового массива. Выполняемые инструментальные наблюдения являются периодически и точечными и характеризуют массив лишь в рыхлых отложениях, в то время как в работу будет вовлечен весь прибортовой массив. В то же время проведение и интерпретация наблюдений за скальными уступами с использованием реперов является весьма сложным и трудозатратным процессом.

Ввиду необходимости повышения надежности мониторинга рассматриваемый участок на Михайловском ГОКе был выбран для тестирования георадара, использование которого предполагало достижение сразу нескольких целей (табл. 1).

Таблица 1
Основные цели применения георадара IBIS-FM в условиях Михайловского ГОКа

Table 1
Main objectives of IBIS-FM GPR application in conditions of Mikhailovsky GOK

Цель	Описание
Мониторинг со сплошной зоной покрытия	Осуществление мониторинга за всей поверхностью прибортового массива как за рыхлыми отложениями, так и за скальными породами
Мониторинг в режиме 24/7	Выполнение не периодических наблюдений (раз в неделю), а в режиме реального времени, возможность раннего оповещения
Мониторинг с измерением привычных показателей	Измерение смещений в мм, что позволяет опираться на действующие нормативные документы
Тестирование работы в условиях Михайловского ГОКа	Работы в карьере МГОКа отличаются высокой интенсивностью, наличием множества оборудования, которое может выдавать шум при проведении наблюдений, сложным строением прибортового массива, периодической плохой видимостью борта карьера и его элементов

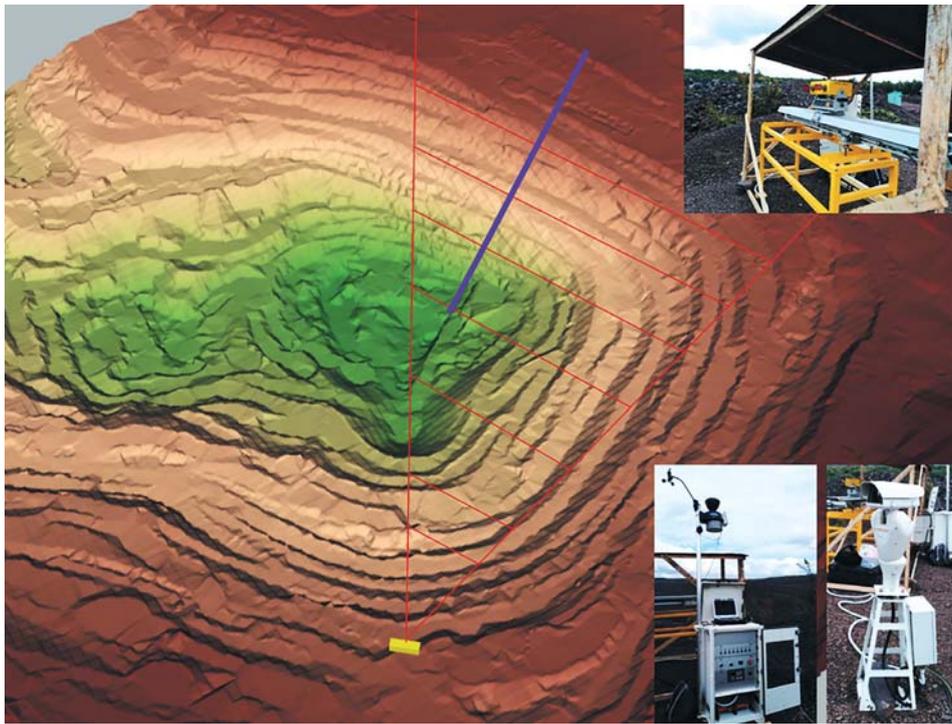


Рис. 5
Участок расположения радара. Фиолетовым цветом выделен участок крутонаклонного конвейера

Fig. 5
Radar location and coverage. The steeply inclined conveyor is shown with the violet line

9 июля 2019 г. специалистами ООО «ГЕКСАГОН ГЕОСИ-СТЕМС РУС» был доставлен на Михайловский ГОК георадар IBIS-FM и уже 10 июля введен в эксплуатацию для тестирования (рис. 5). Данный тип радара прошел весьма широкую и успешную апробацию на многих карьерах мира.

Опыт применения георадара в условиях Михайловского ГОКа

Тестирование георадара IBIS FM в условиях Михайловского ГОКа производилось в период июль-сентябрь 2019 г. Радар был установлен на противоположном борту карьера таким образом, чтобы находиться максимально перпендикулярно к наблюдаемому участку (рис. 3).

Результаты наблюдений выводились на сервер, к которому имели удаленный доступ все специалисты, принимавшие участие в тестировании радара – специалисты Михайловского ГОКа, сотрудники лаборатории устойчивости бортов карьеров Санкт-Петербургского горного университета и представители компании ООО «ГЕКСАГОН ГЕОСИ-СТЕМС РУС».

В ходе тестирования:

1. Проведено обучение специалистов Михайловского ГОКа и Санкт-Петербургского горного университета по работе с программным обеспечением для управления радаром и анализа данных измерений.
2. Отлажена организация работы по настройке, наладке и введению в эксплуатацию георадара. На Михайловском ГОКе имеются все необходимые ресурсы для установления бесперебойной его работы.
3. Апробирован удаленный доступ к программному обеспечению для управления измерениями и их анализа. К георадару имели доступ в Железногорске, Москве и Санкт-Петербурге.
4. Проведено тестирование радара в реальных условиях на протяжении практически 3 мес. Установлено, что качество сигнала сильно зависит от отражающей поверхности. При запуске радара наибольшие смещения были зафиксированы непосредственно на конвейере, хотя никаких признаков сдвижения массива не наблюдалось. Более

подробный анализ измерений показал, что отражения от металла искажают визуализацию интенсивности смещений, что может приводить к ложному срабатыванию карт опасности. Это связано с дневными температурными колебаниями, из-за которых металл претерпевает тепловое расширение (рис. 6). По этой причине наблюдать за участком у конвейера приблизительно на полосе шириной по 20–30 м от его центральной оси не представляется возможным.

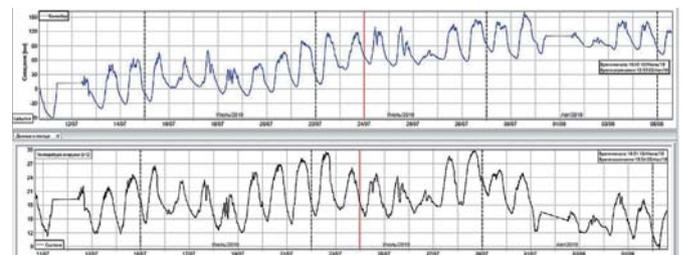


Рис. 6
Смещения области конвейера (верхний график) и изменения температуры (нижний график)

Fig. 6
Conveyor area displacement (upper chart) and temperature changes (lower chart)

Растительный покров также препятствует нормальному функционированию системы, а небольшие осыпи могут вызвать ложное срабатывание сигнализации.

Тестирование проводилось в летнее время, поэтому оценить влияние снежного покрова на результаты измерений не удалось. Однако, исходя из полученного опыта можно предположить, что заснеженная поверхность потребует определенных корректировок методики, а также более тщательного подхода к интерпретации получаемых данных.

Выявлено, что полное сканирование наблюдаемой области проводится за весьма короткое время – 2 мин – применительно к рассматриваемым условиям. За одно измерение радар способен зафиксировать смещения до 4,38 мм или, другими словами, не более 13 см/ч, или 3,1 м/сут.

Взрывные работы находились на удалении от рассма-

триваемого участка и каких-либо четких сдвижений массива после них не выявлено.

5. Проведено тестирование системы оповещения. Искусственно были занижены критерии безопасности, которые сработали при возникновении осыпи при выпадении осадков (рис. 7).

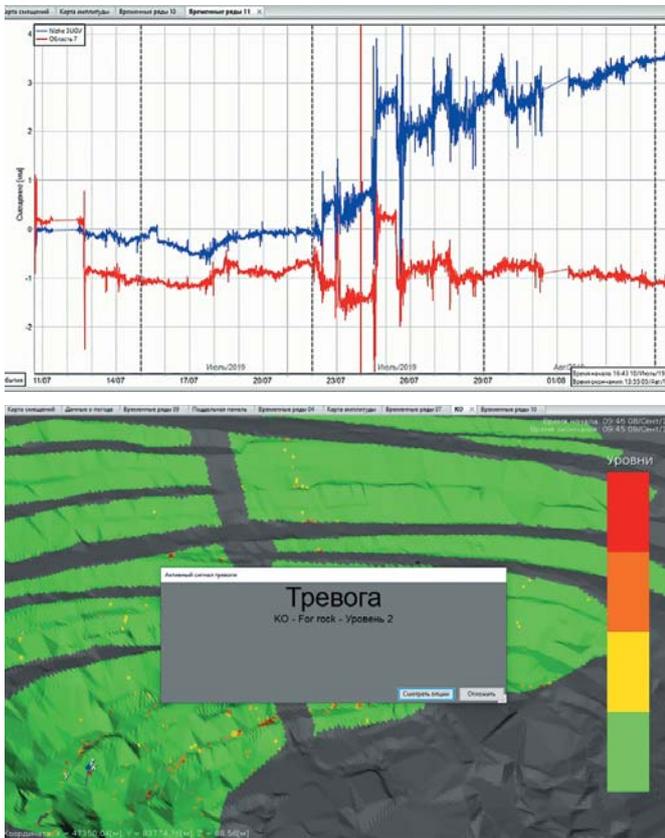


Рис. 7
Смещения по двум смежным областям. При практически одинаковом характере смещений амплитуды отличаются, что вызвано небольшой осыпью

Fig. 7
Displacements in two adjacent areas. With virtually identical displacements, the amplitudes differ due to a small-scale rockslide

6. Установлены предварительные критерии безопасности для Южного борта карьера Михайловского ГОКа при проведении наблюдений с использованием георадара. В качестве ориентировочных значений были приняты величины, основанные как на накопленном опыте маркшейдерских измерений специалистами Михайловского ГОКа, так и на основании литературных данных на аналогичных месторождениях.

7. Проведены анализ и интерпретация полученных данных. Сопоставлены результаты измерений георадара с

измерениями, выполняемыми с использованием GPS приемников, по реперам, которые расположены на бермах, а не в заложениях откосов. Выявлены общие тренды сдвижения, но с отличными по величине смещениями.

При проведении наблюдений вся история измерений может быть сохранена, что позволяет фиксировать не только обрушения, но и оползни, анализируя данные за большой промежуток времени.

Заключение

Георадар зарекомендовал себя в мире как эффективный и удобный инструмент для контроля за устойчивостью бортов карьеров и их участков. И хотя в России подобные технологии пока имеют слабое распространение, в последние годы все больше предприятий обращают на них свое внимание.

Тестовые испытания на Михайловском ГОКе наглядно продемонстрировали сущность технологии и возможности, которые она открывает перед пользователями. Широкая площадь покрытия и наблюдения в реальном времени качественно отличаются от традиционных способов и позволяют не просто вести наблюдения за конкретными участками, но и выявлять их наличие уже на этапе эксплуатации.

Испытания радара показали, что радар не является полностью автономным и независимым. Радар по своей сути является качественным инструментом, за которым необходимо следить, поддерживать его в исправном состоянии, а также правильно работать, что позволит получить весьма надежные данные о состоянии приборного массива. Кроме того, радар отлично совмещается с другими маркшейдерскими методами. Совместное их использование повышает точность наблюдений, позволяя получать более полную информацию о процессах, происходящих внутри массива.

Настройка удаленного доступа и получение оперативных данных позволяют сблизить горное производство и научные организации, что обеспечит более тесное их взаимодействие в решении текущих задач.

К сожалению, при использовании радаров в России возникают не только технические вопросы, но и вопросы на законодательном уровне – на данный момент отсутствует нормативно-методическая база по применению радаров. Однако в этом направлении уже ведутся работы и в будущем будут разработаны как инструкции для конкретных предприятий, так и общие методические документы по использованию наземных интерферометрических радаров.

В ближайшей перспективе георадары будут находить все большее применение в горном производстве для контроля за состоянием устойчивости откосов.

Список литературы

1. Фисенко Г.Л., Сапожников В.Т. Обеспечение безопасности ведения горных работ в условиях деформирующихся бортов разрезов. В: *Труды ВНИМИ*. 1980. С. 88–95.
2. Новожилов М.Г., Тартаковский Б.Н., Кирилюк В.Д., Шапарь А.Г. *Основы управляемого обрушения уступов на открытых разработках*. Киев: Наукова думка; 1967.
3. Галустьян Э.Л. *Геомеханика открытых горных работ*. М.: Недра; 1992. Режим доступа: <http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-geomehnika-otkrytyh-gornyh-rabot.pdf>
4. Гальперин А.М. *Геомеханика открытых горных работ*. М.: Издательство Московского государственного горного университета; 2003. Режим доступа: <http://bookre.org/reader?file=478942>
5. Носков В.А., Вадтнев Б.П., Павлович А.А. Риск-менеджмент при ведении открытых горных работ. *Горный журнал*. 2020;(1):52–55. Режим доступа: <https://www.rudmet.ru/journal/1895/article/32191/>

6. Micheline A., Farina P., Coli N., Coppi F., Leoni L., Sá G., Costa T. *Advanced data processing of ground-based Synthetic Aperture Radar for slope monitoring in open pit mines. 48th US Rock Mechanics, Geomechanics Symposium held in Minneapolis, MN, USA, 1–4 June 2014.*
7. Els F. ARCHIVE: *Photo essay of Bingham Canyon after landslide.* Available at: <https://www.mining.com/ingham-47835/>
8. Розанов И.Ю., Завьялов А.А. Применение радара IBIS FM для контроля состояния борта карьера рудника «Железный» (АО «Ковдорский ГОК»). *Горный информационно-аналитический бюллетень.* 2018;(7):40–46. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-40-46.
9. Макаров А.Б., Ананин А.И., Спирин В.И. Радарный мониторинг устойчивости бортов карьеров. В: *Сборник научных трудов ВНИИцветмет.* 2018. С. 15–28.
10. Исмагилов Р.И., Козуб А.В., Бадтиев Б.П., Павлович А.А. Внедрение мониторинга безопасности на участке строительства крутонаклонного конвейерного комплекса на Южном карьере Михайловского ГОКа. *Горная Промышленность.* 2020;(1):112–118. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-1-120-126.

References

1. Fisenko G.L., Sapozhnikov V.T. Provision of Mining Operations Safety in Conditions of Deforming Open Pit Walls. In: *Trudy VNIMI.* 1980, pp. 88–95. (In Russ.)
2. Novozhilov M.G., Tartakovskii B.N., Kirilyuk V.D., Shapar A.G. *Basics of Controlled Bench Collapse in Open Pit Mines.* Kiev: Naukova dumka; 1967. (In Russ.)
3. Galustyan E.L. *Geomechanics in Open Pit Mining.* Moscow: Nedra; 1992. Available at: <http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-geomehanika-otkrytyh-gornyh-rabot.pdf> (In Russ.)
4. Galperin A.M. *Geomechanics in Open Pit Mining.* Moscow: Moscow State Mining University; 2003. Available at: <http://bookre.org/reader?file=478942> (In Russ.)
5. Noskov V.A., Badtiev B.P., Pavlovich A.A. Risk management in open pit mining. *Gornyi zhurnal.* 2020;(1):52–55. Available at: <https://www.rudmet.ru/journal/1895/article/32191/> (In Russ.)
6. Micheline A., Farina P., Coli N., Coppi F., Leoni L., Sá G., Costa T. *Advanced data processing of ground-based Synthetic Aperture Radar for slope monitoring in open pit mines. 48th US Rock Mechanics, Geomechanics Symposium held in Minneapolis, MN, USA, 1–4 June 2014.*
7. Els F. ARCHIVE: *Photo essay of Bingham Canyon after landslide.* Available at: <https://www.mining.com/ingham-47835/>
8. Rozanov I.Yu., Zavyalov A.A. Application of IBIS FM radar to pit wall monitoring at Zhelezny open pit mine of Kovdor mining and processing plant. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018;(7):40–46. (In Russ.) DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-40-46.
9. Makarov A.B., Ananin A.I., Spirin V.I. Radar Monitoring of Open Pit Wall Stability. In: *Sbornik nauchnykh trudov VNIItsvetmet.* 2018, pp. 15–28. (In Russ.)
10. Ismagilov R.I., Kozub A.V., Badtiev B.P., Pavlovich A.A. Implementation monitoring of safety at the construction area of a steep-inclined conveyer complex at the south open pit of Mikhailovsky GOK. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry.* 2020;(1):120–126. (In Russ.) DOI 10.30686/1609-9192-2020-1-120-126.

Информация об авторах

Исмагилов Ринат Иршатович – директор департамента горнорудного производства, ООО УК «Металлоинвест», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: r.ismagilov@metalloinvest.com.

Захаров Антон Григорьевич – управляющий директор, АО «Михайловский ГОК им. А.В. Варичева», г. Железногорск, Российская Федерация; e-mail: a.zakharov@metalloinvest.com.

Бадтиев Батрадз Петрович – доктор технических наук, начальник управления мониторинга и перспективного развития горных работ, ООО УК «Металлоинвест», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: b.badtiev@metalloinvest.com.

Сенин Николай Викторович – главный маркшейдер, АО «Михайловский ГОК им. А.В. Варичева», г. Железногорск, Российская Федерация; e-mail: glmarksh@mgok.ru.

Павлович Антон Анатольевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: pavlovich_aa@pers.spmi.ru.

Свириденко А.С. – инженер, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: cviridenki@mail.ru.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 27.05.2020

Поступила после рецензирования: 09.06.2020

Принята к публикации: 16.06.2020

Information about the author

Rinat I. Ismagilov – Director of Mining Production Department, AO Holding Company METALLOINVEST, Moscow, Russian Federation; e-mail: r.ismagilov@metalloinvest.com.

Anton G. Zakharov – Managing Director, Andrei Varichev Mikhailovsky GOK, Zheleznogorsk, Russian Federation; e-mail: a.zakharov@metalloinvest.com.

Batradz P. Badtiev – Doctor of Technical Sciences, Head of Mining Monitoring and Prospective Development Department, AO Holding Company METALLOINVEST, Moscow, Russian Federation; e-mail: b.badtiev@metalloinvest.com.

Nikolay V. Senin – Chief Surveyor, Andrei Varichev Mikhailovsky GOK, Zheleznogorsk, Russian Federation; e-mail: glmarksh@mgok.ru.

Anton A. Pavlovich – Candidate of Technical Sciences, Laboratory Chief, Saint Petersburg Mining University, St Petersburg, Russian Federation; e-mail: pavlovich_aa@pers.spmi.ru.

A.S. Sviridenko – Engineer, Saint Petersburg Mining University, St Petersburg, Russian Federation; e-mail: cviridenki@mail.ru.

Article info:

Received: 27.05.2020

Revised: 09.06.2020

Accepted: 16.06.2020