

В. А. Шаворин^{1}*

К вопросу об актуальности импортозамещения в сфере гражданского наземного интерферометрического сканирования

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация
*e-mail: shavorinva@yandex.ru

Аннотация. Несмотря на то, что наземное интерферометрическое сканирование является технологией относительно молодой, при сравнении с традиционными методами мониторинга, они уже успешно зарекомендовали себя для контроля устойчивости бортов и уступов карьеров как в России, так и за рубежом. В данной статье рассмотрено современное состояние внедрения технологии наземного интерферометрического сканирования на объектах отечественных и зарубежных компаний, ведущих разработку полезных ископаемых открытым способом. Проанализированы возможные проблемы в области импортозамещения, которые могут возникнуть вследствие приостановки поставок новых и усложнения логистических цепочек поставок запасных компонентов для ремонта уже внедренных на объекты открытых горных работ георадаров. На основании анализа проблем, сделан вывод о необходимости развития технологии наземного интерферометрического сканирования российскими исследовательскими центрами и институтами.

Ключевые слова: наземное интерферометрическое сканирование, георадар, карьер, геотехнический мониторинг, оползень.

V. A. Shavorin^{1}*

On the issue of the relevance of import substitution in the field of civil ground-based interferometric scanning

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Russian Federation, Novosibirsk
*e-mail: shavorinva@yandex.ru

Abstract. Despite the fact that ground-based interferometric scanning is a relatively young technology, when compared with traditional monitoring methods, they have already successfully proven themselves for monitoring the stability of sides and ledges of quarries both in Russia and abroad. This article discusses the current state of the implementation of ground-based interferometric scanning technology at the facilities of domestic and foreign companies that develop open-pit minerals. Possible problems in the field of import substitution, which may arise due to the suspension of the supply of new ones and the complication of the logistics supply chains of spare components for the repair of GPRs already implemented at open pit mining, are analyzed. Based on the analysis of the problems, a conclusion was drawn about the need to develop the technology of ground-based interferometric scanning by Russian research centers and institutes.

Keywords: ground-based interferometric scanning, georadar, quarry, geotechnical monitoring, landslide

Введение

Наземные интерферометрические радары, как надежный инструмент обеспечения контроля устойчивости бортов и уступов карьеров, используются в меж-

дународной практике с начала 2000-х годов. В настоящее время георадары получили весьма широкое распространение на карьерах и рудниках всего мира. Это связано в первую очередь с неоспоримыми преимуществами, которые предоставляют радарные системы в сравнении с другими видами измерений.

Основными преимуществами радаров являются:

- субмиллиметровая точность определения деформационных смещений [1];
- высокая скорость сканирования, от 60 секунд до 20 минут, в зависимости от типа и модели радара;
- дистанционный мониторинг на большом расстоянии, от 800 м до 5 км, в зависимости от типа и модели радара;
- исключается необходимость в установке дополнительных датчиков или отражателей в потенциально опасной области мониторинга;
- круглосуточное сканирование при любых погодных условиях, включая экстремально низкие температуры окружающего воздуха [2].

Российские компании начали активную апробацию технологии наземного интерферометрического сканирования только с 2014 г., постепенно увеличивая темпы внедрения на объекты открытых горных работ, получив положительный опыт тестирования систем на карьерах. Вследствие сложной мировой экономической ситуацией в данное время и проблемами с импортом данного оборудования, в ближайшем будущем может возникнуть недостаток зарубежных георадаров на российских предприятиях горной отрасли.

Основные производители георадаров, применяемые на объектах Российских и зарубежных компаний

В начале 2000-х годов, как результат поиска эффективной системы мониторинга откосных сооружений, были разработаны радарные установки, позволяющие вести высокоточные наблюдения за смещениями в непрерывном режиме. На данный момент времени они используются в основном на горных предприятиях большинства развитых стран мира, качественно решая геомеханические задачи мониторинга деформационных процессов горных работ.

Георадары используются для дистанционного мониторинга бортов и уступов карьера в режиме реального времени, независимо от времени суток и атмосферных условий. При этом нет необходимости в использовании отражателей, которые часто приходится устанавливать в потенциально опасных участках, что является большим преимуществом перед традиционными методами мониторинга. Время сканирования заданного пользователем участка на борту карьера может варьироваться от 60 секунд до 20 минут, зависит от расстояния от радара до борта, площади заданной зоны сканирования и типа радара.

Технология наземного интерферометрического сканирования является дистанционным методом краткосрочного оперативного контроля за состоянием нестабильных участков откосов, и позволяет фиксировать смещения с миллиметровой точностью на расстоянии от 800 метров до 5 км, в зависимости от модели и типа радара.

Радар устанавливают на борту карьера и начинают в автоматическом режиме непрерывный мониторинг выбранного участка на противоположном борту. Полученные данные сканирования передаются в процессорный блок для обработки и представляются в виде графического изображения в ПО радара. Результат сканирования представляет собой интерферограмму выбранного участка борта, содержащую в себе данные вектора смещения каждой точки (рис. 1).

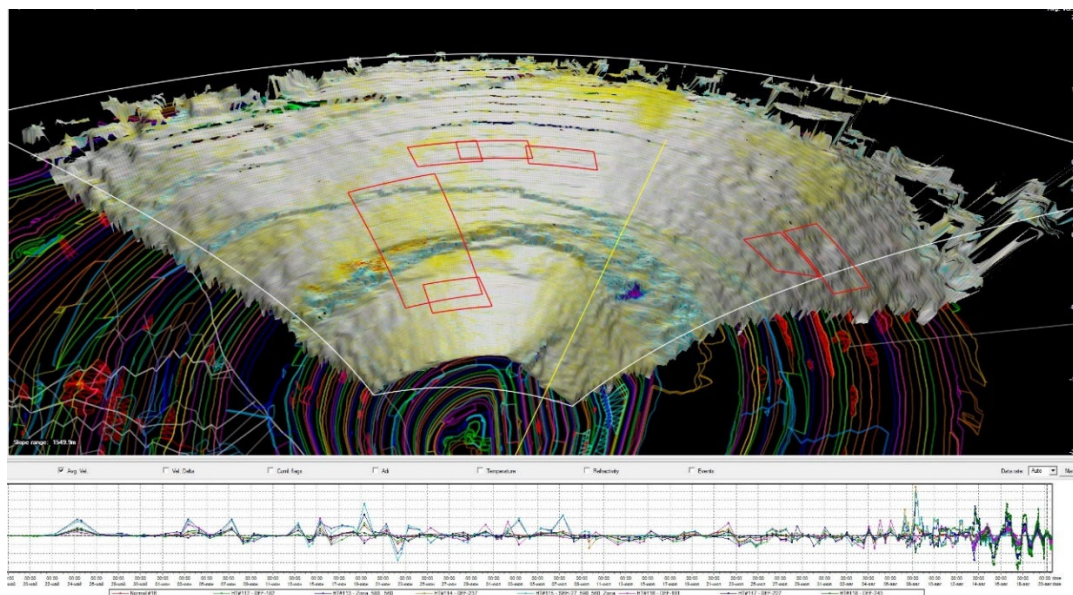


Рис. 1. Пример отображения интерферограммы сканирования в ПО NMI радара Reutech MSR300

Все радары используют один и тот же базовый метод обработки сигналов на основе разности фаз, называемый интерферометрией. В тоже время, по технологии сканирования, современные георадары можно разделить на две группы, с синтезированной апертурной решеткой – SAR-радары (Synthetic-aperture radar) и с реальной апертурной решеткой – RAR-радары (Real Aperture Radar) [3, 4].

Программное обеспечение радара позволяет просматривать, анализировать и накапливать такие данные, как: скорость смещения зоны, накопительное смещение, уровень достоверности отраженного сигнала и др., а также производить оповещение посредством электронной почты и sms-сообщений, при выявлении уровней сдвижений, превышающих пороговые значения, установленные персоналом геотехнической службы.

Для удобства работы и большей информативности интерферограмм сканирования, программное обеспечение практически всех радаров позволяет накладывать данные сканирования на модель карьера и подгружать вспомогательные данные, такие как разломы, трещины и места предыдущих деформаций и осыпаний. ПО некоторых радаров, таких как IDS и Reutech, позволяет импортировать и обрабатывать данные инструментальных наблюдений роботизированными тахеометрами в реальном времени.

Георадары как инструмент, предназначены для проведения непрерывных безотражательных измерений расстояний до поверхности склонов карьера с целью определения текущих значений приращений длин линий, необходимых для мониторинга движения контролируемых бортов. Они отличаются друг от друга типом антенны (рупорная, параболическая, линейная), технологией сканирования (реальная апертура или синтезированная), дальностью (от 800 м до 5 км), скоростью сканирования (от 2 мин до 20 мин на одно сканирование), и методом исполнения (стационарные, мобильные или установленные на базу автомобиля). На рис. 2 представлены варианты различного исполнения георадаров от основных ведущих производителей.



Рис. 2. Варианты исполнения георадаров:

а - IDS ArcSAR; *б* - GroundProbe SSR-XT; *в* – IDS IBIS-FM; *г* – Reutech MSR

Разработка сканирующих радиолокационных систем для мониторинга устойчивости бортов с использованием дифференциальной интерферометрии закончилась в 2002 году в Университете Квинсленда (Австралия).

Компания GroundProbe Ltd.(Австралия), впервые начала использовать радар для мониторинга склонов, представив в июне 2003 года радар стабильности склона (SSR). Немного позже, в январе 2006 года, на рынок со своими радары вышла Южно-Африканская компания Reutech Radar Sistem Ltd.

На сегодняшний день имеется всего несколько производителей, которые предлагают качественные решения по наземному интерферометрическому сканированию. К ним относятся компания IDS (Италия), входящая в концерн Hexagon, Groundprobe (Австралия), Reutech (ЮАР). Так же существуют радары от компаний LISA (JRC-Lisalab) и GPRI (Gamma Remote Sensing), но они встречаются весьма редко. Наиболее широкое распространение в России, за чуть менее 10 лет с момента внедрения технологии, получили радары фирм IDS и Groundprobe [4].

Современное положение систем мониторинга в России

В России интерферометрические радары стали применяться с 2014 года. Одним из первых предприятий, которое на своих объектах внедрило данную технологию стал АО «Ковдорский ГОК», установивший на карьере «Железный» радар с синтезированной апертурой IBIS FM от компании IDS. К настоящему времени радарная система мониторинга карьера насчитывает уже 4 радара, в числе которых 3 мобильных радара IBIS ArcSAR и 1 стационарный радар IBIS FM. Радары расположены таким образом, что покрывают практически все участки борта карьера «Железный» [5].

Радары итальянской компании IDS располагаются на более чем 120 карьерах по всему миру в количестве более 300 радаров. В России радары компании IDS эксплуатируются такими компаниями как АО «Ковдорский ГОК», в количестве 4 единиц, АО «Кузбассразрезуголь», в количестве 2 единиц, АО «СУЭК-Кузбасс» - 1 единица, АО «Михайловский ГОК» - 1 единица, АО «Лебединский ГОК» - 1 единица, ООО «Солнцевский угольный разрез» - 2 единицы, АО Разрез «Шестаки» - 1 единица, АО «Карельский окатыш» - 1 единица, АО «Полус Красноярск» - 2 единицы, ПАО «АЛРОСА» - 3 единицы. Всего на объектах российских компаний работают 18 единиц радаров различных модификаций (IBIS-FM, IBIS ArcSAR, Hydra).

Радары южноафриканской компании Reutech в России представлены в количестве 7 шт. Они внедрены на объектах компаний АО «Полус», в количестве 6 радаров, Norgold разрез «Березовский» - 1 радар.

Радары австралийской компании GroundProbe в России эксплуатируют такие предприятия как АО «Полус» - 3 единицы, АО «Черниговец» - 3 единицы, АО «СУЭК-Кузбасс» - 1 единицы, АО «Полиметалл» - 4 единицы, АО «Серебро Магадана» - 1 единица. В сумме на карьерах отечественных компаний находятся 12 различных моделей радаров компании GroundProbe (SSR-XT, SSR-FX, SSR-SARX, SSR-OMNI), исключая радарные системы для подземной добычи (GML).

По заявлению профессора В.Г. Зотеева, ведущего научного сотрудника лаборатории геодинамики и горного давления, генерального директора ООО «Инновационно-экспертный центр ИГД УрО РАН», члена ученого совета ИГД УрО РАН, члена диссертационных советов при ИГД УрО РАН и Магнитогорского государственного технического университета, автора более 50 научных работ, на большинстве карьеров современной России система мониторинга полностью разрушена. По его мнению, одной из главных причин развала системы монито-

ринга, является низкий уровень подготовки специалистов и отсутствие специального оборудования, что при недостаточно укомплектованных штатах геолого-маркшейдерской службы исключает возможность выполнения необходимого объема работ [6].

С недавнего времени крупные горнодобывающие компании пытаются исправить ситуацию, сложившуюся в вопросах мониторинга бортов и уступов карьера. Реализуется это, в основном, за счет приобретения современных высокотехнологичных приборов для мониторинга, в том числе георадаров, в подавляющем большинстве зарубежного производства. Практический опыт использования наземного радиолокационного сканирования показал высокий уровень технического исполнения и надежности, апробированный на многих горнодобывающих территориях по всему миру.

Вследствие того, что все современные решения в области радиолокационного сканирования, оборудование и ПО являются результатом зарубежных разработок, в ближайшем будущем может возникнуть ряд проблем. Одной из главных является введение санкций и возможное полное прекращение поставок георадаров для нужд отечественных компаний, а также сложные логистические цепочки поставок запасных частей для уже внедренных радаров. Решением может стать поиск альтернатив и работа над созданием подобного оборудования на базе Российских компаний и институтов, занимающихся изучением и производством радиолокационного оборудования.

Актуальность импортозамещения для РФ

В современной сложившейся экономической ситуации в мире, когда крупные компании, являющиеся основными поставщиками наземных георадаров вынуждены ограничивать поставки в Россию своего оборудования, открывается большая ниша, которую могут заполнить разработки Российских институтов и компаний.

По данным интернет-ресурса «Vuzopedia» [7], на начало 2023 года в России числится 50 заведений высшего образования, обучающих по направлению «Радиотехника». Возглавляет список Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Сибирский федеральный университет и Московский политехнический университет. Именно на базе этих учебных заведений возможна разработка и тестирование отечественных вариантов георадаров.

Обстоятельством, повышающим степень значимости технологии для горнодобывающих производств, является занесение отрасли редких и редкоземельных металлов в Государственную программу Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности», утвержденной постановлением Правительства от 15 апреля 2014 года [8].

На фоне ограничения поставок зарубежных компаний на рынок России, при длительном отсутствии отечественных разработок, их место могут занять китайские компании. Одной из таких компаний, владеющих технологией создания наземных интерферометрических компаний является крупный производитель гео-

дизического оборудования CHCNAV. Решениями являются радары с синтезированной апертурной решеткой радар PS-SAR1000 и PS-SAR2000 [9, 10] (рис. 3).



Рис. 3. Георадары CHCNAV. *а* – модель PS-SAR1000; *б* - PS-SAR2000

Радары компании CHCNAV успешно используются в Китае на таких объектах, как угольный карьер Шаньси Аньцзялин, расположенный в районе Пинлу, города Шоучжоу [11], железный рудник Шоуган Шуйчан [12] и др.

Однако на данный момент, по имеющимся в открытых источниках данным, компания CHCNAV занимается производством интерферометрического оборудования только с синтезированной апертурной решеткой (SAR), в то время как георадаров с реальной апертурной решёткой (RAR) в модельном ряду отсутствуют.

Опираясь на опыт международных компаний, когда на рынке появились радары SAR, они на какое-то время обрели популярность, но после опыта тестирования пришло понимание, что надежность и точность данных выше у радаров с реальной апертурной решеткой. Теперь радары SAR зачастую можно увидеть лишь при мониторинге больших площадей для измерения медленных деформаций, например, дамбы хвостохранилищ или проседание поверхности.

После 20 лет со времени разработки RAR радаров, эта технология в горной промышленности все еще считается предпочтительной технологией для мониторинга активно разрабатываемых карьеров. Альтернатива этого типа радаров на данный момент для российских компаний не найдена.

Заключение

В статье рассмотрены основные производители наземных интерферометрических радаров, степень их внедрения на производственных площадках отечественных компаний. Проанализированы вопросы актуальности импортозамещения подобной технологии российскими компаниями и исследовательскими центрами.

По результатам работы, можно сделать вывод, что в настоящий момент существует потребность в развитии отечественных технологий гражданского наземного интерферометрического сканирования для нужд предприятий горной отрасли, и в ближайшей перспективе проблема будет становиться только актуальнее.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шаворин В.А., Горилько А.С. Исследование точности систем измерения сдвигов бортов на примере 3D радара Groundprobe SSR-XT // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 22–24 апреля 2020 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2020. Т. 1, ч. 1. – С. 144–151.
2. Макеев М.А. Инновации на службе промышленной безопасности: Опыт использования передовых радарных систем контроля устойчивости бортов карьеров – Reutech на предприятиях РФ // Горная промышленность – 2017 - №2 (132). – С. 48–49.
3. Bellett, D. Noon, D. Leva. 3D and 2D radars for open-pit slope monitoring. // The Southern African Institute of Mining and Metallurgy Slope Stability. – 2015. – С. 1–14.
4. 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 им. А.В. Варичева // Горная промышленность – 2020 - №3. – С. 84–90.
5. И.Ю. Розанов, Д.А. Ковалев. Анализ результатов измерений радарной системы мониторинга устойчивости борта карьера «Железный» АО «Ковдорский ГОК». Тезисы докладов. Цифровые технологии в горном деле. Аппатиты 2021 г. С. 57.
6. В.Г. Зотеев. Оценка возможности использования «Руководства по проектированию карьеров» при проектировании открытой разработки рудных месторождений в условиях современной России. Рецензия Зотеева В.А. Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/ogr/11267-otsenka-vozmozhnosti-ispolzovaniya-rukovodstva-po-proektirovaniyu-bortov-kareroov-pri-proektirovanii-otkrytoj-razrabotki-rudnykh-mestorozhdenij-v-usloviyakh-sovremennoj-rossii>.
7. Интернет-ресурс «Vuzopedia. Режим доступа: <https://vuzopedia.ru/spec/105/vuzy?page=2>.
8. Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. N 328 "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности". Режим доступа: https://base.garant.ru/70643464/#block_100000.
9. Официальный сайт компании CHCNAV. Режим доступа: https://www.huace.cn/product/product_show/458.
10. Официальный сайт компании CHCNAV. Режим доступа: https://www.huace.cn/product/product_show/548.
11. Применение радиолокационной системы мониторинга склонов на карьере Шаньси Аньцзялин. Официальный сайт компании CHCNAV. Режим доступа: https://www.huace.cn/apply/apply_show/69.
12. Применение наземного радара с синтезированной апертурой для мониторинга склонов рудника Шоуган Шуйчан. Официальный сайт компании CHCNAV. Режим доступа: https://www.huace.cn/apply/apply_show/51.

© В. А. Шаворин, 2023