УДК 528.8.042

М.Г.МУСТАФИН, *д-р техн. наук, профессор, mustafin_m@mail.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург
А.К.ОМАРОВА, *ассистент, yashka2007_2@mail.ru*
Д.В.МОЗЕР, *канд. техн. наук, доцент, dmitri-moser@yandex.ru*
Карагандинский государственный технический университет

M.G.MUSTAFIN, *Dr. in eng. sc., professor, mustafin_m@mail.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg
A.K.OMAROVA, *assistant lecturer, yashka2007_2@mail.ru*
D.V.MOZER, *PhD in eng. sc., associate professor, dmitri-moser@yandex.ru*
Karaganda state technical university

ПРИМЕНЕНИЕ РАДАРНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ GPRI-2 ПРИ МОНИТОРИНГЕ СДВИЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

Приводятся предпосылки к реализации мониторинга сдвижения поверхности земли с использованием радарной сканирующей системы GPRI-2. Показаны преимущества такого подхода. Выполнены конкретные наблюдения в рамках мониторинговых измерений.

Ключевые слова: мониторинг, технология, радарный интерферометр, радарный сканер.

APPLICATION OF RADAR SCANNING SYSTEM GPRI-2 FOR MONITORING THE EATH'S SURFACE DISPLACEMENT

The article provides a background to the implementation of monitoring ground displacement using radar scanning system GPRI-2. The advantages of this approach. Specific observations are made within the framework of monitoring measurements.

Key words: monitoring, technology, radar interferometry, radar scanner.

Современные технологии, применяемые для ведения маркшейдерских работ при открытой и подземной разработке месторождений полезных ископаемых, целенаправленно рассчитаны на увеличение автоматизации процессов, повышение точности и качества измерений, во многом облегчают труд специалистов в данной области. Прогресс особенно заметен в разнообразии методов сканирующих систем, обновлении имеющихся и появлении новых программных комплексов для обработки материалов измерений.

Так, на карьерах для контроля сдвижения горных пород широкое применение нашли роботизированные тахеометры и лазерно-сканирующие системы. Последние обеспечивают построение модели объекта, которая используется для моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) пород в специализированных программных комплексах*. В дальнейшем контроль геомеханического состояния прибортового массива горных пород может выполняться уже «точечно» – в определенных на основе моделирования НДС пород «проблемным» зонах. При этом целесообразно использова-

* *Мустафин М.Г.* Геомеханическая модель системы «выработка – вмещающие породы» и ее использование при прогнозировании динамических проявлений горного давления // Горная геомеханика и маркшейдерское дело / ВНИМИ. СПб, 1999.

Mustafin M.G. Geomechanical model of system «opening – enclosing rock» and its using in forecasting of dynamic display of strata pressure // Mining geomechanics and mine surveying / VNIMI. Saint Petersburg, 1999.

ние роботизированных тахеометров. Приведенный подход организации мониторинговых наблюдений к настоящему времени, можно сказать, стал стандартным. Вместе с тем в практике геодезического контроля сдвижения земной поверхности находят свое место методы, базирующиеся на новых технологиях. Одним из современных наземных способов сканирования поверхности земли является наземная радарная интерферометрия с реальной апертурой, основанная на явлении интерференции.

Принцип действия интерферометра заключается в рассеивании радиоволн излучающими антеннами и приемом отраженных сигналов от поверхности объектов принимающей антенной.

Подобный инструмент выпускается швейцарской фирмой «GAMMA Remote Sensing AG», которая разработала наземный радарный интерферометр с реальной апертурой GPRI-2 и программное обеспечение GAMMA (рис.1).

Радарный сканер GPRI-2 излучает постоянные частотно-модулированные волны (FMCW) в диапазоне от 17,1 до 17,3 ГГц, утвержденном в Европейском союзе. Общая масса прибора составляет около 40 кг. Дальность действия радарного интерферометра зависит от продолжительности линейно-частотной модуляции сигнала, который выбирается из диапазона 0,2-16 мс. Вертикальный угол антенн составляет 60°. На металлической конструкции имеются специальные наклоняющие приспособления с закрепительными винтами с шагом 5°, благодаря которым три антенны можно отклонить до ±45° по вертикали.

В горизонтальной плоскости прибор вращается по ходу и против хода часовой стрелки только при заданном угле от начала старта и до окончания измерения. До начала измерения задается интервал угла. Если сканирование объекта необходимо выполнить по ходу часовой стрелки, то значение угла задается до +270°, а если против хода часовой стрелки, то до –270°. При этом необходимо учитывать, что прибор считывает информацию от начала старта после поворота на 5° и заканчивает запись информации за 5° до остановки прибора, поэтому всегда делается пробное измерение выбранного интервала.

Основное преимущество данного прибора – это частота приема данных. Благодаря высокой скорости записи прибор может запоминать информацию около 10° обзора в секунду. Следовательно, панораму в 360° можно отсканировать менее чем за 1 мин. При этом отдельные части изображения записываются с очень высокой частотой повторения (минимально до 0,2 мс).

В августе 2011 г. в Институте геотехники и маркшейдерии Технического университета Клаусталь, где проходили стажировку авторы статьи, проводились мониторинговые измерения радарным сканером GPRI-2 на полигоне твердых бытовых отходов «Kirschenplantege» в районе г.Кассель (рис.1).

В районе полигона «Kirschenplantege» закреплена постоянными пунктами геодезическая сеть, представленная десятью точками. Данный прибор устанавливался на стандартный штатив, что позволило портативно использовать его для выполнения измерений. Система портативного интерферометра GPRI-2 не требует горизонтальной поверхности фундамента или какой-либо другой прочной поверхности. Пространственное ориентирование прибора происходит благодаря GPS-антенне, закрепленной сверху металлической основы в центре оси вращения*.

В качестве географической привязки отсканированного пространства на местности над пунктами устанавливались металлические уголковые отражатели – рефлекторы, которые отражают попавшее излучение и посылают его в обратном направлении (рис.2). Данное свойство используется также для визуализации сканированного пространства.

---

* *Knospe S., Hebel H.-P., Busch W.* Einsatzmöglichkeiten eines Terrestrischen Radarscanners zur Überwachung von Böschungen und Hängen // DMV und IMGF (Hrsg.): Tagungsband Energie und Rohstoffe 2011. Beitrag des Markscheidewesens, 7-10. 09.2011. Freiberg. S.256-266.

Knospe S., Hebel H.-P., Busch W. Possible applications of a terrestrial radar scanner for monitoring of embankments and slopes // DMV and IMGF (ed.): Proceedings of Energy and Natural Resources, 2011. Post of mine surveying, 7-10.09.2011. Freiberg. P.256-266.



Рис.1. Мониторинг рекультивационных работ наземным радарным интерферометром GPRI-2 на полигоне твердых бытовых отходов



Рис.2. Рефлектор, установленный над геодезическим пунктом на полигоне твердых бытовых отходов

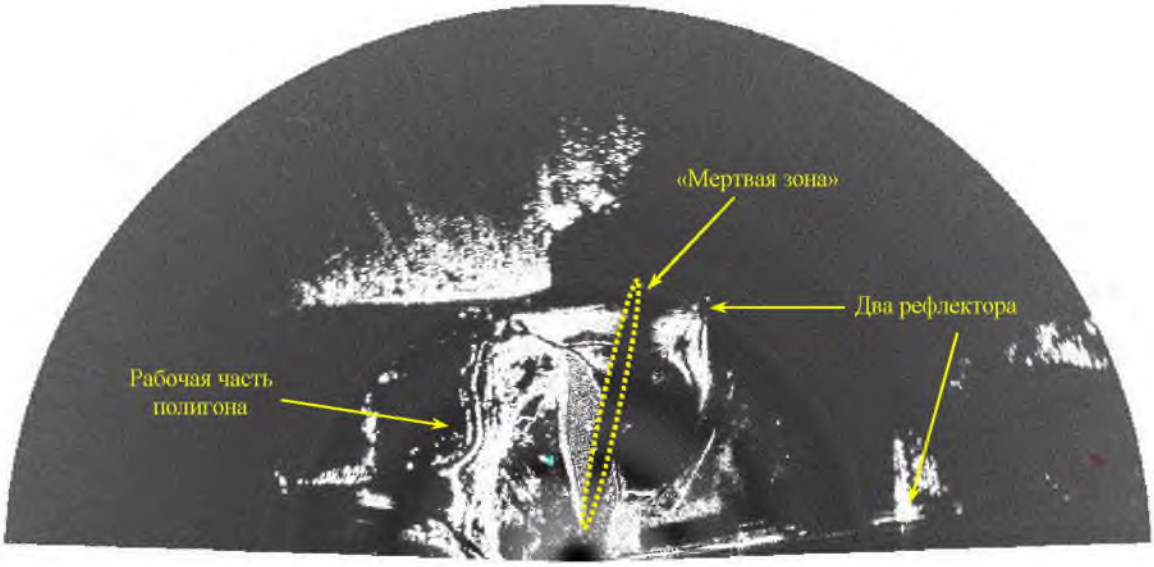


Рис.3. Представление результатов измерений в радарном интерферометре

На рис.3 овалом отмечена «мертвая зона» в результате помехи от листвы дерева, сквозь которую посылаемому сигналу не удалось пройти. В центральной части снимка изображена рабочая часть полигона, вызывающая наибольший интерес. Все процессы съемки задавались с помощью ноутбука со специализированным программным

обеспечением. Информация считывалась со скоростью 10° в секунду. Максимальный радиус отправки сигнала был задан 800 м.

После сканирования производится поэтапная обработка «сырого» материала. Процесс интерферометрической обработки данных начинается со считывания файлов наземного радарного сканера. После загрузки данных каждый отдельный участок сформирован, как правило, в два различных файла с форматом *.raw_data* и *.raw_par*. Размер данных велик и порой достигает сотен гигабайт. Распаковав все файлы, формируют параметры для обработки данных.

Точность определения смещения точек при заданной скорости излучения сигналов достигает 2 мм. Это означает, что при любом малейшем колебании травяного покрова на интерферограмме подвижная часть будет выделена соответствующим шкале цветом.

Результаты измерений (рис.3) показали, что максимальное смещение +24 мм и осадки земной поверхности (до 17,8 мм) обнаружены в области густой растительности (область располагается в верхней части рис.3). В исследуемой области твердых бытовых отходов (рабочая часть полигона, рис.3) смещений не обнаружено.

Применение современной технологии наземной радарной интерферометрии в районах техногенных объектов, несмотря на высокую стоимость оборудования и программного обеспечения, имеет ряд достоинств. Основное преимущество – это сканирование обширной площади и определение деформаций с точностью до 2 мм. В этой связи данную систему целесообразно применять для мониторинга сдвижения поверхности земли при открытом и подземном способах разработки месторождений полезных ископаемых.