

УДК 622:339.13.017

В. Штеллинг

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СЫРЬЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Раскрывает возможности и применение горной геодезии на примере четырёх областей сырьевой промышленности.

Ключевые слова: мониторинг, сырьевая промышленность, подземные разработки, горная геодезия.

Семинар № 16

Эта тема раскрывает возможности и применение горной геодезии на примере четырёх областей сырьевой промышленности. При этом особенный интерес представляют специальные решения проблем в этих областях. Вы убедитесь, что в некоторых областях работают, как и раньше, традиционными методами с помощью рук и головы, что в современное время может быть достаточно сложным. С другой стороны используется современная техника, сенсорика и „Know-how“. Здесь применяются Black Box системы, с помощью которых инженер может проникнуть в физические принципы, влияние ошибок и результаты. Горная геодезия основывается на уже известных предметах и должна ориентироваться на специальные задачи и условия горной промышленности. Для свободного инженера дело усложняется особенными экономическими условиями инженерного бюро и клиентурой, состоящий в основном из малых предприятий индустрии нерудных полезных ископаемых. Современная техника измерения и обработки представляется на примере следующих четырёх отраслей:

- каменно-угольные подземные разработки

- открытая разработка по добыче бурого угля

- каливые- и соляные горные разработки

- нерудные полезные ископаемые

Итак, что же подразумевается под темой «мониторинг»? Все чаще и чаще допуск на установку(строительство) связан с проверкой и доказательством, не загрязняющих окружающую среду, добычу полезных ископаемых. С другой стороны для плановых, решительных и управленческих процессов на производстве необходима современная информация и быстрая реакция на происходящие изменения.

Задачи мониторинга делятся на три группы:

Первая - это контроль и документация влияния на окружающую среду, горное строительство, а также геометрических изменений под и над землей. Доказательство изменений свойств месторождений и их размеров, а также движение масс и заложений. При надземной добыче документация мероприятий по рекультивации представляет довольно емкий процесс.

Второй частью является подготовка информации для анализа изменений, для сравнения запланированного и полученного в результате.

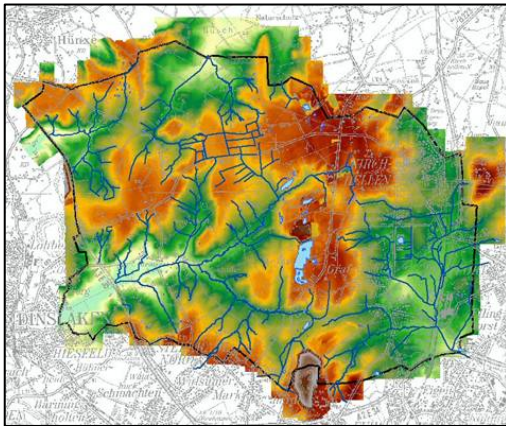


Рис. 1. Дигитальная модель территории (DGM) результат обработки аэрофото съемки

Третья рабочая часть относится к предоставлению информации, для внутреннего процесса управления, для доказательства выполнения задач и для внешней коммуникации.

Каменно-угольные подземные разработки

В каменно-угольных подземных разработках рассматриваются следующие задачи. Создание пространственных дигитальных моделей территории (DGM) и перевод их в геоинформационные системы. Через пересечение с другими специальными моделями можно определить оседание, линии грунтовых вод и водоотведение. В рамках определенных временных циклов является возможным рассматривать области изменений, составить точный анализ деформации земной поверхности и всю информацию привязать к процессу мониторинга.

Методы сбора данных для изготовления дигитальной модели территории (DGM) производится при помощи аналитической и дигитальной фотограмметрии, а также посредством дополнительных наземных измерений. Используется также воздушное лазерное ска-

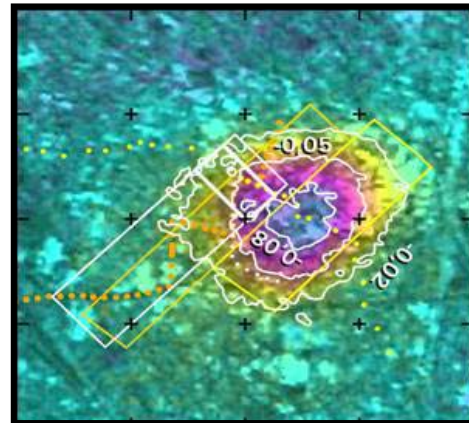


Рис. 2. Результат радарно-интерферометрической обработки (Senkungen в м)

нирование (Airborne Laser-scanning), данные и снимки с спутников.

Для начала рассмотрим процесс изготовления дигитальной модели территории из аэрофотоснимков. При этом планируется план фотополета, в зависимости от размеров участка, разрешения и точности. С помощью этого достигается оптимизация фотополета в зависимости от поперечного и продольного перекрытия, высоты полета и масштаба. Съемка во время фотополета производится дигитальной аэрофотокамерой (например камера OMC - Optical Monitoring Camera), которая имеет несколько каналов. Например негатив (RGB) или Color-Infrarot (CIR), так что возможно множество вариантов изготовления (например PHODIS/микростанция, Leica LPS). С помощью правильного программного обеспечения производятся желаемые дигитальные модели территории (рис. 1).

Как уже замечено, установление геометрических изменений земной поверхности может быть произведено с помощью расшифровки данных с спутников.

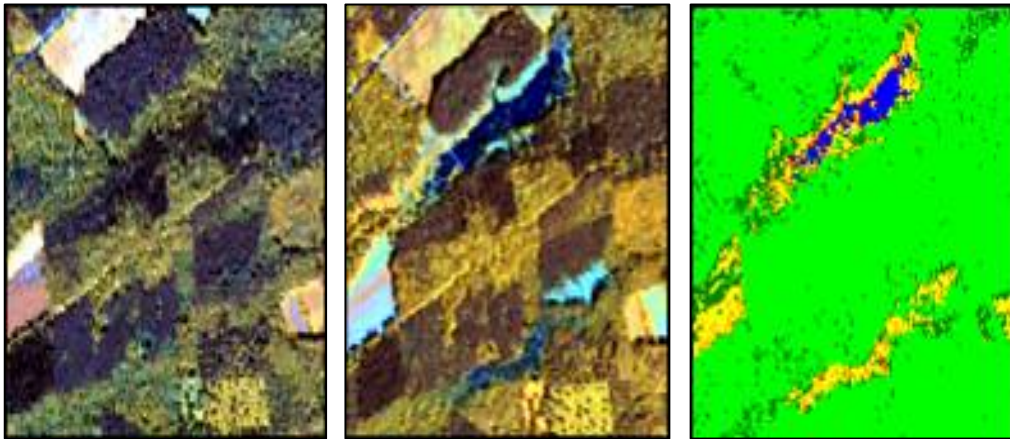


Рис. 3: Результаты 2 съемок с перерывом в 3 года (слева и в середине) и из этого вытекающее изменение флоры (справа)

Например известен метод радарной интерферометрии (Differential Radar Interferometry; DInSAR) с точностью до 1 см (рис. 2), также используются данные с спутников ERS 1+2 а также RADARSAT. European Remote Sensing Satellites ERS-1 (1991) и ERS-2 (1995) служат для изучения земной поверхности. Они оснащены множеством («мульти-дисциплинарных») техник измерений для различных спектров (UV/VIS-область, IR-область и микроволны).

RADARSAT-1 (1995) оснащен подвижным SAR-сенсором (Synthetic Aperture Radar), который зондирует земную поверхность в С - полосах (частота 5.3 ГГц, длина волн 5.6 см). В модуле высокого разрешения съемки от 10 м, площадью 50 км², в угловом модуле отображает площадь в 500 км² с разрешением 100 м. Время облета спутника составляет 100,7 минуты, он обращается вокруг земли 14 раз в сутки. Каждые 24 часа пролетает через одинаковые позиции земного шара. Из-за углового модуля и подвижности антенны может изображать каждые 5 суток одинаковые участки земного шара, ближе к полюсу даже ежедневно. В 2007 году был запущен

новый модернизированный спутник RADARSAT-2 с ракетой Союз.

Для установления феноменологических изменений в окружающей среде применяются результаты съемки спутников Ikonos (1999; оттенки и цветные снимки, примерно 1 м разрешение) и QuickBird (2001; примерно 0,5 м разрешение) а также данные HyMap.

HyMap это прикрепляемый к самолету гипер-спектральный сканер фирмы Integrated Spectronics, который ведет запись в 128 спектрах и диапазоне длины волны от 400-2480 нм. Геометрическое разрешение в зависимости от высоты полета составляет от 5 до 10 м. Угол съемки в 60-70 градусов делает возможной широту съемки 3500 м при высоте полета 3000м. Сенсор на борту самолета калибруют радиометрически и спектрально, изначально был предназначен для геологической разведки. Возможности RAG / DSK были изучены в проекте «Исследования и Разработки». В результате проекта было доказано возможность применения сенсора для изучения изменения вегетации в условиях затопления (рис. 3).

В шахтах уже несколько лет успешно применяется «Подземный Pocket PC (ExSch PDA)».

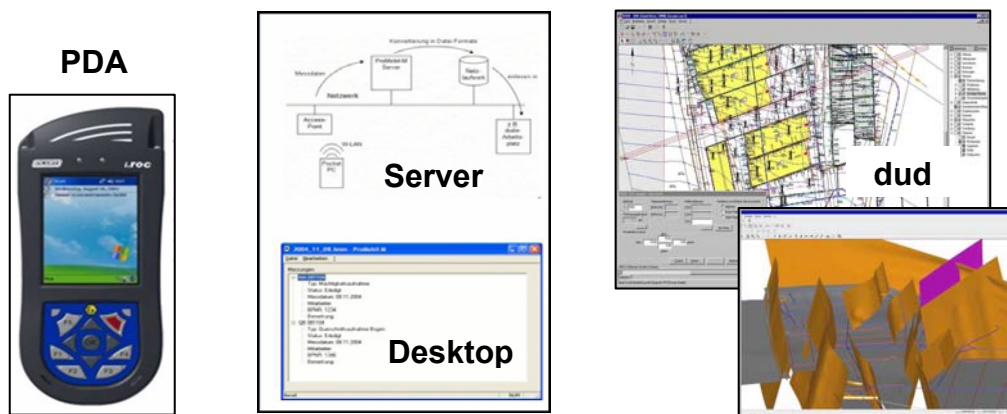


Рис. 4: Компонент Про-Системы Фамилия; учет данных на PDA (слева), передача данных с помощью сервера (в середине) и графическая выдача данных- программа „dude“ (справа)

Персональный цифровой ассистент (рис. 4). Он образует маркшейдерский мобильный компонент про системы *Pro-System – Familie* (сеть, шахта, ЕНВ, климат, Mobil-M, Mobil-W).

В своей нынешней конфигурации PDA предлагает решение программного обеспечения для съемки пластов и поперечного сечения выработки. А также обрабатываются геологические данные съемки бурового керна и геотехнические показатели. Относительно геодезических измерений задаются и обрабатываются измерения полигона главной транспортной сети. Для измерений расстояния используется, как и раньше, Leica (Wild) DI 3000, угловые измерения производятся с помощью традиционных теодолитов.

Перенос данных из PDA на надземный сервер производится из под земли через так называемый WLAN-Access-Points. На надземном PC обрабатываются уже усредненные данные и применяются для продолжения цифровой модели месторождения.

Pro-System – Familie это решение программного обеспечения с графической выдачей для обработки различ-

ных тем и задач. При этом речь идет, во первых, о воспроизведении данных процесса обработки на базе 3-мерного здания шахты (план погоды, план подвесной монорельсовой дороги, климат).

Новое решение съемки и документации ситуации в подземной каменноугольной горной разработке это применение лазерного сканера. В прошлом году был успешно тестирован в проекте разработки защиты от взрывов и получил допуск к эксплуатации лазерный сканер Zuller+Frühlich „Imager 5006Ex (Изображение 5 слева).

Поэтому на сегодняшний день есть возможность проводить параллельно съемку главной транспортной сети, а также съемку поперечного сечения находящихся в эксплуатации участков и поэтому проводить мониторинг конвергенции в рамках 3-х мерного анализа деформации (рис. 5 справа).

Так возможно в короткое время определить недостатки и места возможной коллизии, например при транспортировке машин или проведении проводов (рис. 5, середина). Лазерное сканирование используется также для контроля качества и про-

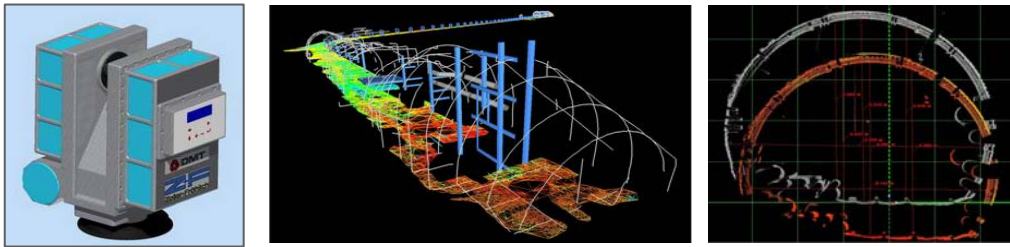


Рис. 5. Лазерное сканирование: ImaGer 5006 Ex, результаты съемки расстояния и поперечного сечения

верки дорог, например контроль за проходкой горной выработки, крепления. Кроме того возможно проведение 3х-мерной документации дорог, шахт или машинных установок, а также с помощью ситуационной съемки определить объем и реалистичские фотоснимки (например купола шахты, расстояния, бункера).

Задачи горной геодезии в открытой разработке по добыче бурого угля ориентируются на циклы горного производства. При этом речь идет о геологическое разведке и из этого следующее описание месторождения.

Следующий этап это проведение предписанных учреждением работ по утверждению. Затем следует план подготовки эксплуатации предприятия и разработки, контроль за предприятием, в который входит постоянный обмер, разметка, воспроизведение объемов и баланса масс.

Со стороны засыпки, отвала проводится мониторинг моделированных отсыпей и хранилищ. Одной из следующих задач является надзор и контроль склонов надземной разработки. Предоставление инфраструктуры для размещения вспомогательных приборов и приборов скорой помощи, управление землеройными приборами и машинами. Кроме того речь идет о обширной, в зависимости от ситуации, документации и постоянном потоке информации, например об анализе подготовки к эксплуатации, ре-

культивации и водоснабжении и т.д. до завершения работ.

Как важное условие для экономической выработки сырого угля является организация процесса в предприятии через всю цепочку видов деятельности от добычи – транспорта до переправления на основе последовательного управления процессом. При этом ставятся следующие цели:

- Ориентированное, качественное углеснабжение всех АС и фабрик,
- Сохранение требований по защите окружающей среды,
- Обеспечение конкурентоспособности на рынке,

Это может быть достигнуто с помощью следующих подцелей:

- Увеличение общего использования системы открытой разработки,
- Стабильное размещение вскрышных масс для освобождения угля,
- Уменьшение затрат на техническое обслуживание,
- Обеспечение качества рекультивации в рамках постоянного процесса использования.

Уже несколько лет RWE Power AG производит попытки выполнить эти цели и задачи в рамках управления процессом от добычи до отвала с помощью системы „MATMA“ (рис. 6); MATMA расшифровывается как Material-Management. Совместно с компонентной системой управления баггером на спутниках „SABAS“ и системой управления абзетцером на

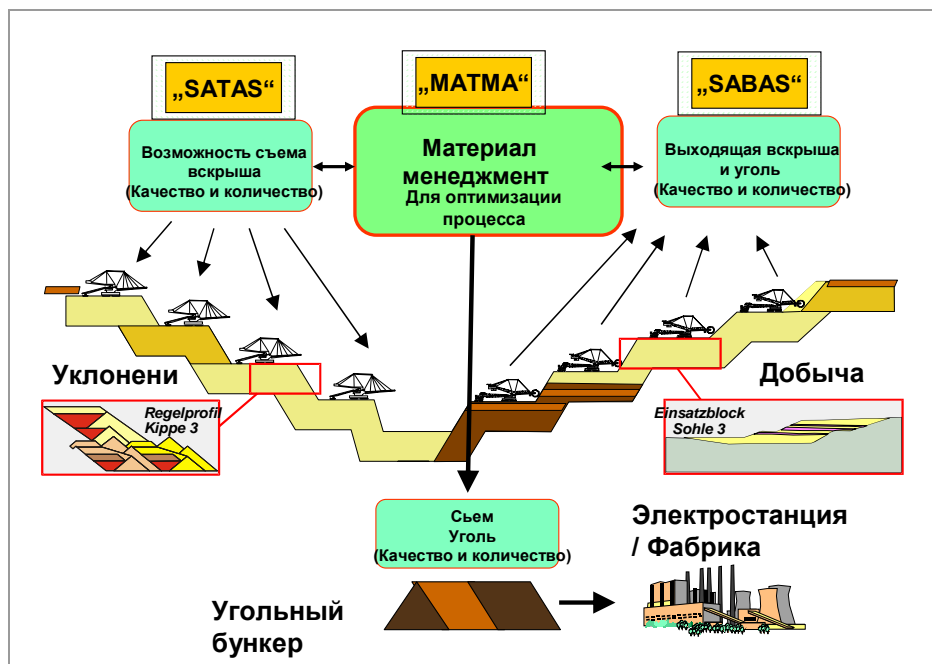


Рис. 6: Общая система управления процессом

спутниках „SATAS“ образует решение автоматизированного управления потока материалов и расположения главных приборов.

Автоматизированное определение размещения основных приборов имеет прямое влияние на:

- План разработки открытым способом; последовательное изготовление моделей территории (размещение приборов в зависимости от расположения месторождения), увеличение общего использования.

- Размещение материала; улучшение отбора материала благодарны точному надрезу и тщательному уклону, устойчивое размещение вскрыши.

- Гарантия качества; постоянное востребование материальных балансов, установление качества рекультивации.

- Управление производством; быстрая реакция на требования по ка-

честву и количеству, уменьшение издержек на содержание приборов в исправности, повышение безопасности работ, защита окружающей среды.

- Рентабельность; быстрая и безпримесная добыча и отсыпь. Обеспечение конкурентоспособности

Важно показать, что размещение материала в разработке открытым способом с современной техникой в действующем производстве это сложная задача с множеством зависимостей и правил. Важное условие это постоянная информация об открыто залегающих массах и объема вмещения абзетцера и бункера. Это означает что должна быть постоянная информация о количестве, качестве и времени прибытия материала, также как об имеющемся в распоряжении объеме выемки и бункера. Это невозможно с помощью прошлых методов т.е. с традиционной съемкой. Техни-



Рис. 7: SABAS, состоит из GPS антенн и другого аппаратного обеспечения Hardware/Сенсоры (слева и в середине), также помощи в управлении баггером (справа,)перманентное сравнение актуальной и запланированной позиции

ческое решение этого это дигитальная модель процесса добычи проекта „SABAS“ об управлении приборов с помощью спутников.

При помощи „SABAS“ будет возможно изображать online позицию роторного экскаватора на GPS в области дециметров. Это относится не только к позиции, но и к движениям приборов. То есть „SABAS“ это не только модель и интеграция запланированного, но и помощь водителю в управлении машиной (рис. 7). Программно-техническое решение предоставляет модифицированная Site-Vision-Система от Trimble.

Актуальная позиция баггера пере-

секается с моделью месторождения, так что постоянно поступает информация, какой материал находится в разрезе. Для процесса добычи используется система SABAS, для области засыпки используется SATAS. Абзетцеры здесь также оснащены GPS антеннами. Кроме того на концах приемщика прикреплены 2-х мерные лазерные сканеры (Riegl) для контролем за процессом засыпки. Перенос данных производится с помощью проводника световых волн (LWL). За счет движения приемщика получают три компонента и генерируются в 3-х мерную модель поверхности (рис. 9). Интеграция 2-х

мерного лазерного сканера позволяет в конечном итоге перерезание с моделью засыпки и поверхности, и через показание актуальной высоты насыпи и профиля, является помощью в управлении водителю.

Следующее инновативное решение это применение GPS техники, применение Trimble SiteVision GPS TM на землеройных машинах (рис. 10). Это машинная контрольная система для земляных работ, с помощью которых визуализируется запроецирован-

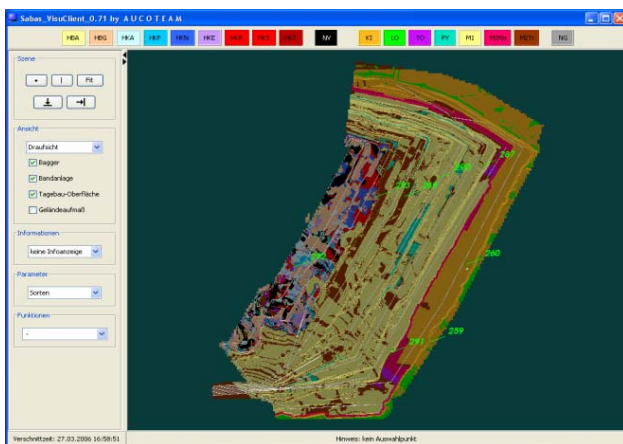


Рис. 8. On Screen - изображение позиции приборов (зеленые цифры) и залегающих материалов добычи: уголь, песок и т.д.



Рис. 9. Создание 3-мерной модели усыпи с помощью GPS и 2- мерного лазерного сканера

ная поверхность, уклон, высота и поворот. В основном система состоит из бульдозера с двумя GPS антеннами, арифметическим устройством для ввода и выдачи данных (слева и в середине) и световыми палочками для навигации экрана (справа).

На этом же принципе основана система для контроля за уплотнением некультивированных площадей. На месте гусеничного экрана бульдозера ставится уплотняющий ролик. Величина уплотнения устанавливается с помощью вертикально расположенных ножей. Контроль за уплотнением следует из процесса изготовления через

навигацию единицы уплотнения и изображения расположения дорог, навигации на основе размещения дорог, количество переездов. С помощью измерений устанавливается уплотнение и изображается графически.

Для последующей обработки данные переносятся с помощью notebook, что делает возможной документацию качества уплотнения по размещению, документацию числа переездов и прочности расположения (уплотнение, мощность застройки).

Каливые - и соляные горные разработки

В этой отрасли ставятся следующие задачи: Регулярное нивелирование поля, указание направления в шахтах, съемка полости, регулярно возникающие в ходе работ дополнительные измерения, ведение чертежей и разработка эскизов, определение параметров качества. Нивелирование поля, указание направления выполняются с помощью традиционных приборов тотальных станций и теодолитов. Похожие решения даны для переноса и обработки данных, а также для графического изображения.



Рис. 10: Машинная контрольная система, состоящая из бульдозера с 2 GPS антеннами (слева, устройство для ввода и вывода (середина) световые палочки для навигации экрана (справа)

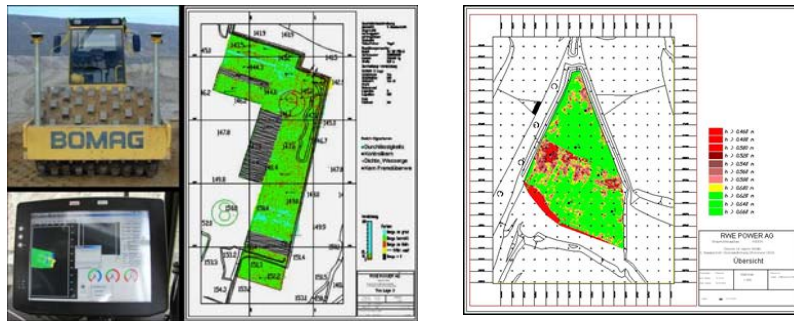


Рис. 11: Система для контролируемого уплотнения рекультивируемых площадей; Машинно-техническое решение (BOMAG) с указанием на экране монитора ситуации уплотнения (слева), документация уплотнения (справа)

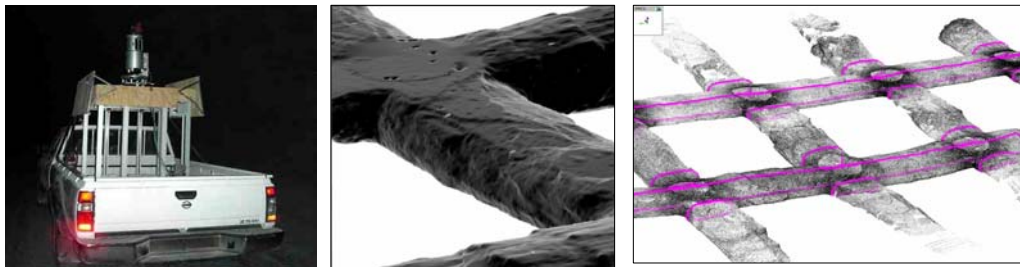


Рис. 12. Применение моторизированного лазерного сканера; Построение системы (слева), Результат (середина и справа)

Инновационным путем пошла фирма Kali & Salz области съемки полостей. Так в рамках проекта изучения и разработки был переоборудован Riegl сканер в моторизированный лазерный сканер (рис. 12).

Целью была не только съемка полостей и пещер, но и с этим связанное исследование боковой стенки в отношении геометрии, геологии и тектоники, воспроизведение геометрических размеров для выполнения чертежа, а также изготовление 3х-мерной модели выемки для создания современной, однородной, цифровой плановой основы и визуализации надшахтного здания в рамках рекламно-информационной деятельности. Результат проекта изучения и разработки был положительным, успешная проверка в действии. Но для регули-

рования очень больших объемов данных и их обработки необходимо специальное Know-how и специальное программное обеспечение. Кроме того необходимо расширение и развитие CAD. В данный момент применение проекта не экономично.

Нерудные полезные ископаемые.

В отрасли нерудных полезных ископаемых ставятся похожие задачи, что и в отрасли по добыче бурого угля. Они касаются разведки, оценки и проектирования месторождения. Заявка, обработка заявлений для действия производства. С началом добычи ставятся задачи анализа, плана разработки, наблюдения, баланса массы и качества, а также документация всех действий. К этому относится сохранение всех геодезических данных, их анализ и презентация посредством геоинформационной системы.



Рис. 13. Применимый лазерный сканер для съемки открытой разработки; Riegl Z420i (слева), Maptek I-SiTE 4400 (середина) und Leica HDS 3000 (справа)

Постоянная съемка в разработке открытым способом это важная задача в этой отрасли горной промышленности. Для этого идеально подходит применение лазерных сканеров. Но нужно учитывать, что для измерений в карьере лазерный сканер для наземной съемки должен иметь дальность действия > 300 м, достигать требуемую точность (см) и быть удобным в применении. К приборам удовлетворяющим этим условиям относятся Riegl Z420i, I-SiTE 4400 или Leica HDS 3000 (рис. 13). Так например длится съемка карьера площадью примерно 4 га, снимаемая с нескольких позиций при количестве пунктов прим. 6 млн менее одного дня.

Цель съемки это установление объемов и массы, документация ситуации, воспроизведение горных карт. Применение коротко показано в форме 4-х фаз обработки. С введением координат опорных точек (которые были определены с помощью GPS) следует ориентировка «облака пунктов» и комбинация сканированного с общим облаком пунктов (рис. 14, а). Через триангуляцию точек в TIN (triangulated irregular network) в цифальную модель поверхности DOM

(рис. 14, б). Через автоматическое распознавание углов и кантов, а также фильтрование данных, т.е. редукцию количества пунктов (рис. 14, с) изготавливается дигитальная модель территории, а через перевод данных в CAD-программу и проводится генерирование линий в план местности т.е. в карту (рис. 14, d). С помощью полученной модели территории путем сравнения результатов последних измерений создается добыча и заполнение баланса объема и масс. Представленный пример показывает разработку известняка, площадью прим. 17 га, глубиной прим. 40 м, ежегодная съемка (9 га).

Итог –

Требования к молодым маркшейдерам

В персональное резюме должно входить:

1. Измерительно-техническое Know-how (быть „up-to-date“)
 - способность воспринимать новое и быть готовым к изменениям
2. Предприятие – Know-how
 - Разработка рабочих процессов (специальный уровень)

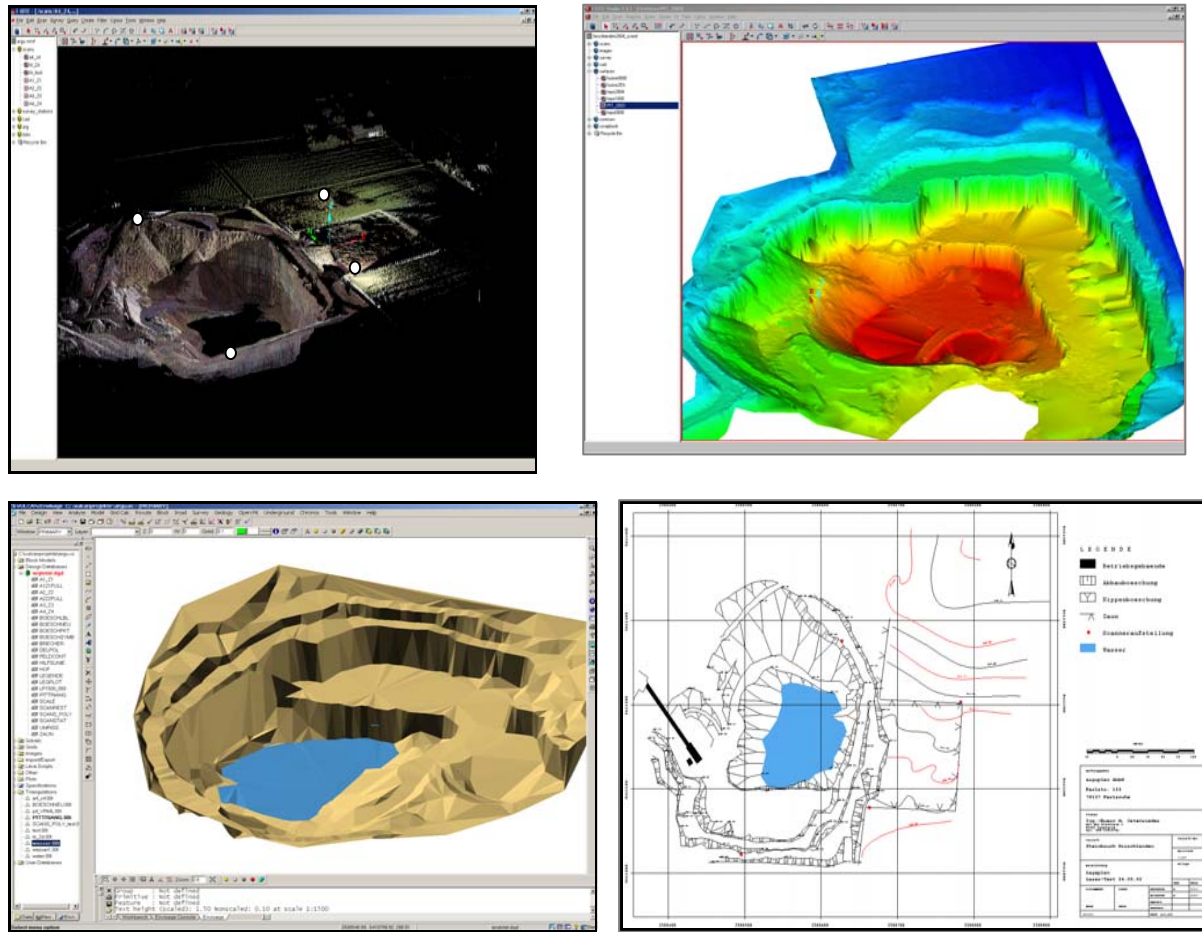


Рис. 14. Обработка съемки открытой разработки в 4 фазах: а) „облако точек“ (сверху слева), б) Дигитальная модель поверхности (сверху справа), в) модель кантов из редуцированного количества точек (снизу слева), г) Чертеж (снизу справа)

3. Ориентировка на клиента и на получение хорошего результата
затраты в разумных пределах и ориентировка в ценах

4. Социальная компетенция
коммуникабельность и компетенция в управлении персоналом

Спектр знаний и задач, как следствие затронутых тем

- Геодезические и маркшейдерские измерения и расчеты, включая способы измерений и расчетов, которые не вредят окружающей среде.

- Геологические и геофизические знания, обследование месторождений и моделирование

- План смен, разработка, проверка работ, контроллинг

- ADV-знания (Hardware, Software), черчение и картография (CAD), геоинформатика (GIS)

Дополнительно должны иметься знания о:

- проектно-информационном менеджменте

- области горного права и экономики

- коммуникации и рекламно-информационной деятельности

Выражается благодарность фирмам RAG AG, RWE Power AG, Kali und Salz AG, arguplan GmbH, DMT GmbH und Milan Flug GmbH за предоставленную информацию и снимки. Особенная благодарность ассессору специальности маркшейдерское дело Joachim Deutschmann (RAG AG; заместителю директора немецкого маркшейдерского общества – DMV, <http://www.dmv-ev.de>) за предоставление помощи в предоставлении материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Fugmann, Jürg*: „Zum Einsatz von Laserscannern in Steine-Erden-Tagebauen“; доклад в Технической высшей школе Бохум, Workshop „Einsatz von Laserscannern in Bergbau und Vermessung am 18./19.10.2007

(<http://www.arguplan.de/index2.html>).

2. *Guder, W.; Weber, P.; Prof. Frenz W.; Prof. Preuß, A.*: Satellitenvermessung und moderne Rohstoffgewinnung, Glückauf 141 (2005) Nr. 11 .

3. *Hempel, R.; Dr. Strunk, S.; Hüntel, F.*: Operations control instruments in an opencast mine operated at full capacity; World

of mining - Surface & Underground 59 (2007) no. 4.

4. *Kuchenbecker, Rainer; Bock, Joachim und Uhl, Otto*: „Ein Beitrag zu Messanordnungen und Auswertestrategien für den Einsatz von 3D-Laserscannern im Bergbau“; доклад в Технической высшей школе Бохум, Workshop „Einsatz von Laserscannern in Bergbau und Vermessung am 18./19.10.2007 (<http://www.dmt.de>).

5. *Weber, P. Schulte, R. Holzheim, M.*: Modellansatz zur Nachtragung des Risswerks mittels der satellitengestützten Baggereinsatzsteuerung (SABAS), Markscheidewesen 2/2004. **ГЛАВ**

Коротко об авторе

Штеллинг Вильгельм – профессор, инженер, Техническая высшая школа Георга Агриколы, Бохум, Германия.

