

Цзюньфэн Ли, Александра Горчатова, Галина Хремли

Li Junfeng, Alexandra Gorchatova, Galina Khremli

**ОБЗОР МЕТОДОВ СЪЕМКИ МЕСТНОСТИ И ПЕРЕДОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАРТОГРАФИРОВАНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ.
ОПЫТ ИХ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ**

**A REVIEW OF TERRAIN SURVEYING METHODS AND ADVANCED
MAPPING TECHNOLOGIES USED TO INCREASE THE COMPETITIVENESS
OF MINING ENTERPRISES. EXPERIENCE OF THEIR JOINT APPLIC ATION**

Уральский федеральный университет имени первого Президента России
Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg

В статье обсуждается, как технологии картографирования могут работать вместе для улучшения экономики горнодобывающего производства. Горнодобывающая производственная деятельность часто сопровождается высокими рисками, сложными производственными процессами и высокими затратами. Поэтому горнодобывающие компании и государственные ведомства ищут пути повышения эффективности производства, снижения затрат, уменьшения рисков для достижения цели устойчивого развития.

Цель этого исследования: как повысить конкурентоспособность горнодобывающих предприятий за счет использования нескольких методов съемки и картографирования для сотрудничества. В статье объясняется использование нескольких методов измерения и их комплексное применение, а также объясняется положительное влияние на разведку, добычу полезных ископаемых, охрану окружающей среды, управление рисками и управление ресурсами.

В статье рассматриваются следующие аспекты:

1. Внедрение технологии совместного использования различных методов съемки и картографии, включая фотограмметрию и дистанционное зондирование, воздушный лидар, географическую информационную систему, глобальную навигационную спутниковую систему, цифровое картографирование и т. д.

Ли Цзюньфэн – студент бакалавриата
Горчатова А. – студент бакалавриата
Хремли Г. – старший преподаватель

2. Принципы и применение различных методов съемки и картографии, а также способы их комплексного использования для получения более полных, точных и подробных географических информационных данных.

3. Области применения совместных технологий множественных геодезических и картографических методов в горнодобывающем производстве, включая разведку полезных ископаемых, экологический мониторинг, управление рисками и управление ресурсами, а также то, как они могут повысить корпоративную конкурентоспособность и снизить затраты.

В целом, совместная технология нескольких методов съемки и картографирования представляет собой мощный инструмент для горнодобывающего производства, который может повысить эффективность производства, снизить затраты, снизить риски и способствовать устойчивому развитию. Такой комплексный подход повышает конкурентоспособность горнодобывающих компаний за счет предоставления полных географических данных, а также поддерживает принятие решений при управлении ресурсами.

This article discusses how multiple mapping methods can work together to improve the economics of mining production. Mining production activities are often accompanied by high risks, complex production processes and high costs. Therefore, mining companies and government departments have been seeking ways to improve production efficiency, reduce costs, reduce risks, and at the same time achieve the goal of sustainable development.

The purpose of this study is to think about how to improve the competitiveness of mining enterprises through the use of multiple surveying and mapping methods to collaborate. The article explains the use of multiple measurement methods and their comprehensive application, and illustrates the impact of this technology on exploration, mining, and environmental protection, risk management and resource management.

The article mainly elaborates on the following aspects:

1. Introduces the collaborative cooperation technology of various surveying and mapping methods, including photogrammetry and remote sensing, airborne lidar, geographic information system, global navigation satellite system, digital mapping, etc.

2. Detailed introduction to the principles and applications of various surveying and mapping methods, and how to comprehensively use them to obtain more comprehensive, accurate and detailed geographical information data.

3. Describes the application fields of multiple surveying and mapping method collaborative technologies in mining production, including mineral exploration, environmental monitoring, risk management and resource management, and how they can improve corporate competitiveness and reduce costs.

In general, the collaborative technology of multiple surveying and mapping methods provides a powerful tool for mining production, which can improve production efficiency, reduce costs, reduce risks, and contribute to sustainable development. This comprehensive approach improves the competitiveness of mining companies by providing comprehensive geographic data while also supporting decision-making and resource management.

Ключевые слова: глобальная спутниковая навигационная системы, географические информационные системы, лазерное сканирование с борта летательных аппаратов, фотограмметрия, дистанционное зондирование, маркшейдерство.

Keywords: global satellite navigation systems, geographic information systems, laser scanning from aircraft, photogrammetry, remote sensing, surveying.

Введение

Горнодобывающая промышленность является основной для развития локальной и глобальной экономики, обеспечивая сырьевую базу практически для всех отраслей промышленности. Горнодобывающая промышленность имеет основополагающее значение для местного и глобального экономического развития, обеспечивая сырьевую базу практически для всех отраслей промышленности. Однако горнодобывающая деятельность часто сопровождается рядом высоких затрат, таких как высокий риск производственного процесса, высокая сложность проектирования производственного процесса, обременительный экологический менеджмент и предотвращение опасностей в процессе добычи полезных ископаемых и т. д. стоимость высокая. В этом контексте компании и правительственные органы горнодобывающей промышленности постоянно ищут способы повышения производительности, снижения затрат, уменьшения рисков и одновременно достижения целей устойчивого развития – повышение общего уровня конкурентоспособности бизнеса. Появилась совместная технология нескольких методов съемки и картографирования, которая считается мощным инструментом для достижения этих целей. Эта технология объединяет методы фотограмметрии и дистанционного зондирования (RS), лазерного сканирования с борта летательных аппаратов(LIDAR), географических информационных систем (ГИС), глобальной спутниковой навигационной системы (ГНСС), цифрового картографирования и другие методы измерений, предоставляя всесторонние географические данные, что приносит значительную экономическую пользу применяемым ее предприятиям горнодобывающей промышленности.

1 Концепция совместного использования современных методов съемки и передовых технологий картографирования местности

В эпоху цифровых технологий методы геодезических съемок на предприятиях горнодобывающей промышленности продолжают развиваться в направлении информатизации, многообразия и интеллектуализации.

Совместная технология использования нескольких методов съемки – это метод, который использует различные технологии картографирования местности и множество источников данных для получения географической информации. Ее основная идея заключается в интеграции данных разных методов геодезической съемки для предоставления более всесторонней, точной и детальной географической информации.

Совместная технология использования разных способов съемки местности и передовых технологий картографирования включает следующие методы: цифровая фотограмметрия и теледетекция (RS), лазерное сканирование с борта летательных аппаратов, геоинформационные системы (ГИС), использование глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС), цифровое картографирование и др. Эти методы имеют разные принципы и технологию реализации, типы сформированных сведений и области применения, но их совместное использование позволяет предоставить полную информацию о географических данных, обеспечивая объективизацию и высокую оперативность принятия управленческих решений.

Основная идея совместной технологии использования методов съемки и современных технологий картографирования заключается в интеграции этих разнообразных методов друг с другом, чтобы компенсировать их соответствующие недостатки и улучшить целостность и точность данных. Этот комплексный подход позволяет предприятиям горнодобывающей промышленности получить всестороннее представление о геологии, рельефе, распределении ресурсов и другой информации о местности, обеспечивая мощную поддержку в принятии решений при управлении ресурсами, что обеспечивает заметное снижение затрат, по сравнению с традиционными видами геодезической съемки местности.

2 Обзор различных методов съемки местности и передовых технологий картографирования

2.1 Фотограмметрия

Фотограмметрия – это метод определения позиционных положений объектов местности по их фотографическим изображениям. При этом выполняется съемка земной поверхности с разных углов, а затем выполняется фотограмметрическая обработка для получения географической информации. Изображения предоставляют видимую информацию о поверхности, включая рельеф и геологические особенности. Путем захвата нескольких изображений можно получить стереопару, что позволяет вычислить трехмерные координаты объектов. Кроме того, изображения, имеющие высокое и сверхвысокое

разрешение земной поверхности помогают точно определять месторождения, отслеживать изменения ресурсов и планировать их добычу. Фотограмметрия широко используется в горнодобывающей промышленности, в геодезии, в геологии для разведки месторождений, в управлении ресурсами, в создании моделей рельефа и при мониторинге окружающей среды.

2.2 Теледетекция

Теледетекция строится на основе теории электромагнитных волн и использует передовые сенсоры для сбора данных в геодезической области. Она широко применяется в горнодобывающей геодезии для мониторинга окружающей среды. Теледетекция способствует замеру больших площадей и предоставляет наглядные всесторонние изображения, которые позволяют проводить мониторинг земельного рельефа и поверхности, а также сравнивать изображения с различными оттенками.

Помимо того, китайский исследователь Цзян Иен предложил метод применения интерферометрического синтеза апертуры радиолокации (InSAR) в горнодобывающей геодезии, а Ли Сюэцян 2 провел обзор применения InSAR для мониторинга деформаций в горных районах, что позволило получить данные о высоте карьера с миллиметровой точностью, а также обеспечило надежную защиту от деформации и обвалов.

2.3 Лазерное сканирование с борта летательных аппаратов (LiDAR)

Лазерное сканирование с борта летательных аппаратов (LiDAR) использует короткие импульсы лазера для облучения земной поверхности, а также измеряет время, необходимое для прохождения лазерного излучения от источника к отраженной поверхности, чтобы рассчитать расстояние до объектов земной поверхности. Таким образом, можно создавать точные трехмерные геоданные, используемые для создания цифровых моделей рельефа (ЦМР), которые поддерживают планирование горнодобывающей деятельности, управление ресурсами и мониторинга окружающей среды. LiDAR эффективно и точно собирает геоданные, что обеспечивает важную поддержку для горнодобывающей промышленности. Инженер Фан Боген 3 представил суммарное применение LiDAR для геодезической съемки в горнодобывающей промышленности, описав принципы и конкретные процедуры обработки данных. Кроме того, китайский ученый Гао Юэчжен объединил несколько бортовых сенсоров и предложил обширную схему применения LiDAR с использованием модели фильтра Калмана.

Данная технология обладает высокой степенью автоматизации и способностью обработки данных, что может значительно повысить качество и эффективность геодезической съемки в горнодобывающей отрасли. Однако в процессе применения технологии могут возникнуть проблемы, связанные с большим уровнем шума при сборе

данных, низкой скоростью сбора данных, возможностью воздействия внешних факторов, поэтому требуются принятие соответствующих мер для их решения.

2.4 Геоинформационные системы (ГИС)

Геоинформационные системы (ГИС) - это технология управления и анализа географической информации, которая объединяет данные разных источников, включая карты, пространственные и атрибутивные данные, в одной системе, что обеспечивает широкий спектр аналитических и пространственных возможностей. В горнодобывающей геодезии ГИС используется для интеграции данных различных методов съемки и анализа геоданных. ГИС облегчает управление ресурсами и геологические исследования, а также окружающую среду. Инженер Рей Чаофен детально описывает процедуры применения ГИС в горнодобывающей отрасли. Его исследование, проведенное с использованием программного обеспечения МАРГИС, позволяет собирать, хранить, обрабатывать и анализировать данные карьера, может предоставлять поддержку для сбора информации, поиска и анализа, динамического прогнозирования и оценки, а также формирует вывод информации для управления разработкой и управления ресурсами минерального сырья. Инженер Ли Гуочжао предложил метод объединения географических информационных систем с другими методами измерения, обобщил перспективы применения ГИС в горных измерениях и значительно повысил экономическую выгоду от горнодобывающего производства.

Географические информационные системы способствуют прогрессу и развитию маркшейдерского дела. Применение ГИС в маркшейдерском деле постепенно сформировало техническую систему, объединяющую сбор, ввод, анализ, обработку и вывод данных, что открывает новые возможности развития горного дела.

2.5 Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС)

Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) используют спутники, такие как GPS (США), GLONASS (Россия), Galileo (Европа) и Beidou (Китай), для получения информации о географическом местоположении и времени. В горнодобывающей геодезии ГНСС используется для осуществления контрольных измерений на местности и создания координатных систем. Целью геодезического контроля является предоставление высокоточных эталонных точек и систем координат для различных этапов геодезической съемки, что обеспечивает надежную поддержку для горнодобывающей деятельности. Применение технологии ГНСС для измерения управления минами в основном использует технологию статического дифференциального позиционирования, предоставляемую ГНСС для измерений, затем использует приемник для выполнения дифференциального позиционирования контрольных точек, и регулирует время дифференциального

позиционирования приемника для достижения цели точного измерения. По сравнению с традиционными методами измерения шахт, в которых используются проволочные измерения, технология измерений ГНСС обладает преимуществами: всепогодность, работа в режиме реального времени, высокая эффективность, короткое время измерения и отсутствие необходимости в прямой видимости между измерительными станциями, низкие требования к условиям измерений и контролю. Высокая точность измерений широко используется при сборе полевых данных, инженерном строительстве, управлении ресурсами, мониторинге геологических катастроф, а также в горно-географических информационных системах (ГИС) при маркшейдерских работах.

ГНСС также используется в мониторинге изменений в рельефе и деформациях в горнодобывающей отрасли. Ученый Заоксюй Куаньхуа описал методы использования ГНСС для обнаружения деформаций, что позволило получить информацию о высоте карьера с миллиметровой точностью и обеспечило надежную защиту от деформаций и обвалов.

При измерении геологической среды шахт в основном измеряют изменения геологических слоев, углы простирания и наклона подземных рудных тел (пластов горных пород и угольных пластов). С этой целью мы можем использовать технологию ГНСС для получения трехмерной геологической информации о шахтах. Его основной принцип работы заключается в том, чтобы сначала установить точки в пластах горных пород или угольных пластах, а затем использовать приемники глобальной системы позиционирования для точного позиционирования точек. Точки измерения также устанавливаются на поверхности и принимаются с помощью приемника системы глобального позиционирования. Подземные точки измерения могут быть соединены с точками измерения на поверхности для получения информации о подземных горных породах или угольных пластах. Эта работа может дополнительно предоставить информацию о состоянии подземных рудных тел (каменных и угольных пластов) и предоставить необходимые подземные данные для добычи полезных ископаемых.

По сравнению с традиционными методами маркшейдерской съемки, использование технологии ГНСС-съемки в горно-геологической разведке имеет преимущества высокой точности, высокой эффективности работы и высокой степени визуализации данных, а также обеспечивает хорошую основу для планирования и проектирования горных работ, разведки и разработки, управление ресурсами и горно-географические информационные системы (ГИС), обеспечивают эффективные методы измерения, тем самым повышая экономическую выгоду от горнодобывающего производства.

2.6 Цифровая картография

Цифровая картография представляет собой метод создания карт и геоданных с использованием компьютерных технологий, что предоставляет высокоточные геоданные, которые могут быть использованы для геодезической съемки в горнодобывающей отрасли. Цифровая картография позволяет представить географическую информацию в виде карт и графиков, что обеспечивает наглядное и всестороннее представление о земной поверхности и ресурсах. В горнодобывающей геодезии цифровая картография используется для создания цифровых моделей рельефа, карт ресурсов и других геоданных. Цифровая картография предоставляет широкие возможности для анализа и создания картографических продуктов, что облегчает принятие решений и планирование в горнодобывающей деятельности.

3. Совместное использование различных методов съемки и передовых технологий картографирования местности

Преимущество совместного использования нескольких методов съемки и картографии заключается в том, что можно комплексно использовать различные методы съемки и картографии, чтобы компенсировать их соответствующие недостатки и улучшить целостность и точность данных, сократить производственные, эксплуатационные и инвестиционные затраты, тем самым повысить конкурентоспособность компании в следующих областях:

5. Разведка полезных ископаемых

Разведка полезных ископаемых – первый и один из самых сложных этапов горного производства. Традиционные методы разведки полезных ископаемых часто отнимают много времени, трудоемки и имеют ограниченную точность данных. Совместная технология нескольких методов съемки и картографирования может предоставить более полную географическую информацию, включая топографию, формы рельефа, геологические особенности и распределение растительности, за счет комплексного использования фотограмметрии, данных воздушного лидара и дистанционного зондирования. Эта информация помогает определить потенциальные площади месторождений полезных ископаемых, сократить ненужные затраты на разведку и повысить вероятность успеха разведки полезных ископаемых. Например, данные о местности, полученные с помощью воздушного лидара, могут помочь исследовательским группам лучше понять структуру рудника, а данные фотограмметрии и дистанционного зондирования могут использоваться для обнаружения наземных знаков и направления разведочных работ.

6. Мониторинг окружающей среды

Горнодобывающая деятельность часто сопровождается воздействием на окружающую среду, включая разрушение земель, загрязнение воды и ухудшение качества воздуха. Для мониторинга этих воздействий на окружающую среду можно использовать совместные

технологии с использованием различных методов картографирования, которые помогают горнодобывающим компаниям соблюдать правила и смягчать негативные последствия. Например, воздушный лидар может использоваться для мониторинга изменений местности и воды вокруг шахт, а данные фотограмметрии и дистанционного зондирования могут использоваться для мониторинга изменений растительного покрова и землепользования. Интегрируя эти данные с ГИС, горнодобывающие компании могут отслеживать состояние окружающей среды в режиме реального времени и принимать ранние меры по уменьшению ущерба окружающей среде, тем самым снижая затраты на охрану окружающей среды.

7. Управление рисками

Горнодобывающая деятельность подвержена различным рискам, включая геологические, рыночные и риски безопасности. Совместные технологии в различных методах съемки и картографии могут помочь снизить эти риски. Например, воздушный лидар можно использовать для мониторинга геологических структур, заблаговременного обнаружения признаков геологических катастроф и предотвращения потенциальных опасностей. Кроме того, измерения ГНСС и радар с синтезированной апертурой (INSAR) могут использоваться для мониторинга оседания земли и предотвращения повреждения инфраструктуры. Технология многоканальной совместной съемки и картографии также может использоваться для анализа рынка, помогая горнодобывающим компаниям лучше понимать рыночные тенденции, оптимизировать планы добычи и снижать рыночные риски.

8. Управление ресурсами шахты

Совместная технология нескольких методов съемки и картографии предоставляет горнодобывающим компаниям более эффективные инструменты управления ресурсами. Благодаря комплексному использованию различных методов съемки и картографирования можно достичь комплексного исследования и мониторинга ресурсов. Данные фотограмметрии и дистанционного зондирования могут использоваться для распределения шахтных ресурсов, воздушный лидар может применяться для получения информации об объемах шахтных ресурсов, а географические информационные системы (ГИС) нужны для интеграции и анализа этих данных, что помогает оптимизировать добычу и использование горнодобывающих ресурсов, сократить потери и повысить эффективность управления ресурсами. Кроме того, измерения ГНСС также можно использовать для мониторинга процессов добычи ресурсов, помогая горнодобывающим компаниям лучше понимать потребление ресурсов и достигать устойчивого управления ресурсами.

Заключение

Совместная технология нескольких методов съемки и картографирования принесла значительную экономическую выгоду горнодобывающему производству и повысила

конкурентоспособность предприятий. Интеграция различных технологий измерения обеспечивает точные данные для улучшения разведки полезных ископаемых, мониторинга окружающей среды, управления рисками и ресурсами. Совместное использование различных методов съемки и картографирования может помочь снизить эксплуатационные расходы и инвестиционные затраты, повысить производительность труда, снизить производственные риски и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду, в которой работают горнодобывающие компании. Экономическая эффективность совместной технологии нескольких методов съемки и картографии делает ее важным стратегическим инструментом для обеспечения конкурентоспособности бизнеса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Цзян Янь, Гао Цзюньхай, Применение технологии радиолокационной интерферометрии с синтезированной апертурой при мониторинге проседания поверхности горных работ [J], *Mining Surveying*, 2003(01):5-7.
2. Ли Сюцзян, Применение радиолокационной дифференциальной интерферометрии с синтезированной апертурой при мониторинге деформаций горнодобывающих территорий [J], *World Nonferrous Metals*, 2018(18):14-15.
3. Фан Боген, Анализ применения технологии воздушной лидарной съемки и картографирования в маркшейдерстве [J], *Low Carbon World*, 2023, 13(07): 31-33. DOI: 10.16844/j.cnki.cn10-1007/tk. 2023.07.010.
4. Гао Юэчжэнь, Исследование технологии позиционирования сцены горных работ на основе слияния нескольких датчиков[D], Университет Цзилинь, 2023. DOI:10.27162/d.cnki.gjlin.2023.005076.
5. Лэй Чаофэн. Применение географической информационной системы на базе MAPGIS в шахтах [J]. *Mine Surveying*, 2010(05):19-20+24.
6. Ли Гоочжао. Применение географической информационной системы в маркшейдерстве [J]. *Geospatial Information*, 2013, 11(04):38-39+45+186.
7. Цзоу Гуаньхуа, Применение технологии GNSS в мониторинге геологических катастроф на шахтах [J], *World Nonferrous Metals*, 2018(22):130+132.