

## ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ В ГЕОДЕЗИИ И МАРКШЕЙДЕРИИ

*Рассмотрены основные аспекты применения дистанционного зондирования как косвенных способов измерений в решении прикладных задач в маркшейдерско-геодезической практике.*

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование, космический аппарат, природные ресурсы, пространственное разрешение, стереомодель, фотограмметрия, лазерное сканирование.

Технологии дистанционного зондирования Земли в настоящее время являются незаменимым инструментом изучения и постоянного мониторинга нашей планеты, помогающим эффективно использовать и управлять ее ресурсами. Современные технологии ДЗЗ находят применение практически во всех сферах нашей жизни.

Обычно, при упоминании ДЗЗ, например, в СМИ, имеется в виду зондирование из космоса. На самом деле дистанционным зондированием считается наблюдение поверхности Земли или других объектов наземными, авиационными и космическими средствами, оснащёнными различными видами съёмочной аппаратуры. При этом информацию об исследуемых объектах (их геометрические, физические и динамические характеристики) получают на основании косвенных данных: интенсивность излучения, его спектр и поляризация.

Сегодня на орбите планеты Земля находится более 100 спутников дистанционного зондирования, что превышает даже количество навигационных спутников.

Российская орбитальная группировка дистанционного зондирования Земли (рис. 1) состоит из космических аппаратов серий «Ресурс-П», «Канопус-В», «Метеор-М» и «Электро-Л» [1].



Рисунок 1 — Типы космических аппаратов российской группировки дистанционного зондирования Земли

Аппараты из первых двух серий имеют непосредственное отношение к сфере геодезических и маркшейдерских приложений.

Космический комплекс «Канопус-В» (рис. 2) состоит из 6 космических аппаратов, которые обеспечивают съемку поверхности Земли в видимом диапазоне спектра электромагнитного излучения.

Ниже приведены области применения КА серии «Канопус-В»:

- а) мониторинг техногенных и природных чрезвычайных ситуаций, в том числе стихийных гидрометеорологических явлений;
- б) обнаружение очагов лесных пожаров площадью  $25 \text{ м}^2$ , крупных выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду;
- в) мониторинг сельскохозяйственной деятельности, природных ресурсов;
- г) землепользование;
- д) наблюдение заданных районов земной поверхности;
- е) картографирование;
- ж) обновление топографических карт.



Рисунок 2 — Космический аппарат «Канопус-В»

Космический комплекс «Ресурс-П» состоит из трех космических аппаратов. Ниже приведены области применения этого комплекса.

- а) исследование природных ресурсов;
- б) контроль загрязнения и деградации окружающей среды;
- в) информационное обеспечение для поиска месторождений полезных ископаемых;
- г) оценка состояния ледовой обстановки;
- д) инвентаризация природных ресурсов для обеспечения рациональной деятельности в различных отраслях хозяйства;
- е) мониторинг чрезвычайных ситуаций;
- ж) контроль состояния социально-экономической инфраструктуры;
- и) информационное обеспечение для проведения инженерных изысканий;
- к) создание и обновление кадастровых планов, топографических и навигационных карт;
- л) определение вида и состояния растительности, состава пленки загрязнений на поверхности воды, идентификация минералов, почв;
- м) обнаружение незаконных посевов наркосодержащих растений и контроль их уничтожения.

Съемочная система спутников серии «Ресурс-П» имеет пространственное разрешение около 70 см и есть возможность стереосъемки. Основные преимущества комплекса следующие:

- 1) сверхвысокое пространственное разрешение — лучше 1,0 м;
- 2) стереоскопическая съемка — возможность создания трехмерных моделей.

Интересно, что компьютерные технологии построения стереомодели по фотоизображениям появились сравнительно недавно. Раньше для этого требовался человек-оператор с его бинокулярным (двумя глазами) зрением. На рисунке 3 изображен аналитический фотограмметрический прибор Стереонаграф-6, выпускавшийся на Украине с 1991 года. Примерно в это же время началась активная разработка компьютерных технологий в фотограмметрии.

В 90-е годы XX века произошел полный переход на цифровую обработку снимков [2]. Были созданы цифровые фотограмметрические рабочие станции, основным отличием которых стало автоматическое отождествление одноименных точек на перекрывающихся снимках, то есть автоматическое построение стереомодели. При этом могут использоваться как цифровые снимки, так и отсканированные фотоизображения.

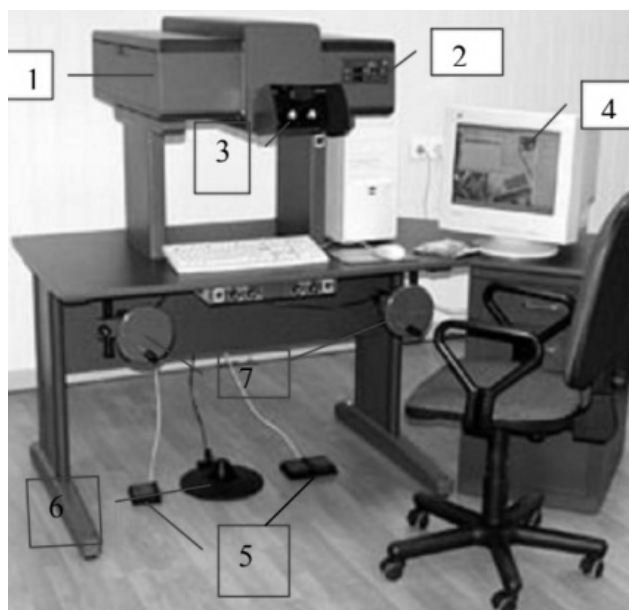


Рисунок 3 — Аналитический фотограмметрический прибор Стереонаграф-6

В России спутники, позволяющие решать картографические задачи на основе этих технологий, введены в строй в 2006 г.

Однако существующие гражданские спутниковые технологии пока не позволяют решать большинство маркшейдерских задач из-за недостаточной точности. Поэтому, например, для съемки карьеров активно используют воздушную стереофотограмметрическую съемку, которая также является дистанционным зондированием.

Фотограмметрия позволяет определить по снимкам исследуемого объекта его форму, размеры и пространственное положение в заданной системе координат, а также его площадь, объём, различные сечения на момент съёмки и изменения их величин через заданный интервал времени. Фотограмметрическая обработка снимков имеет следующие преимущества:

- 1) по снимкам объекта можно получить числовую информацию о нём такой густоты, какой практически невозможно достичь при непосредственных промерах;
- 2) числовую и графическую информацию об объекте можно получить, не вступая с ним в контакт, когда объект недоступен для человека или находится в среде, опасной для его жизни;
- 3) оператор-фотограмметрист находится в комфортных кабинетных условиях.

В последние годы в качестве платформы для установки фотокамеры часто используются беспилотные летательные аппараты (рис. 4).



Рисунок 4 — Квадрокоптер Phantom 4 с контроллером

Полет БПЛА управляется автоматически, необходимо задать высоту полета, площадь участка съемки, процент перекрытия снимков и программа рассчитывает в автоматическом режиме:

- 1) интервал съемки и количество фотографий,
- 2) расстояние между пролетами и рекомендованное направление маршрутов,
- 3) разрешение (количество см на пиксель), изменяя в сторону уменьшения высоту, вы можете увеличивать качество изображения.

После выполнения залета снимки загружаются в специализированную программу для последующей обработки. В зависимости от решаемой задачи используются различные программные продукты.

Еще один перспективный метод дистанционного зондирования, недавно появившийся на рынке — лазерное сканирование (3D сканирование).

Появившись в начале XXI века, лазерное сканирование стало наиболее значительным технологическим новшеством в маркшейдерии, геодезии и ряде смежных отраслей [3]. Технологический эффект, вызванный его появлением, столь значителен, что его можно сравнить только с внедрением в повседневную геодезическую практику в начале 90-х годов системы спутникового определения координат GPS.

Это технология сбора пространственных данных окружающих объектов. В результате сканирования формируется трехмерная модель объекта — т. н. облако точек, положение каждой из которых в пространстве определяется значениями координат X, Y, Z.

Съемка заключается в измерении расстояния от сканера до точек объекта в безотражательном режиме и регистрации соответствующего направления (рис. 5), как в тахеометрической съемке, только скорость может достигать сотен тысяч точек в секунду.

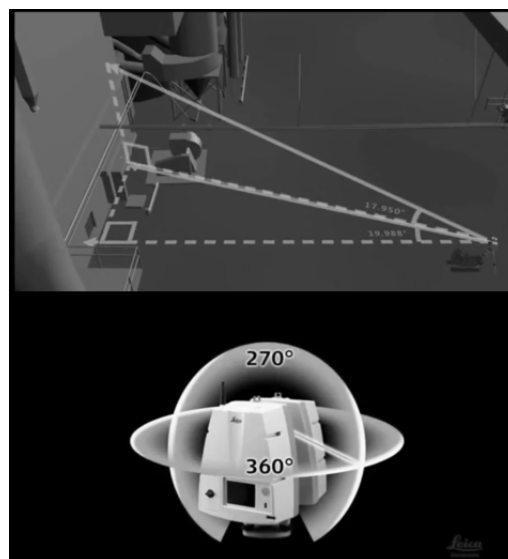


Рисунок 5 — Принцип трехмерного лазерного сканирования

По точности, детальности, производительности этот метод в разы превосходит все существующие для соответствующих задач.

Поэтому лазерное сканирование применимо практически во всех областях исследований — от криминалистики до съемки подземных пустот (рис. 6).

Материалы 3D сканирования могут быть средствами ГИС легко интегрированы с уже имеющимися массивами пространственной информации, полученными вышеперечисленными способами. Это позволяет организовать процесс обновления и уточнения уже имеющихся данных при минимальном объеме полевых работ.

Для маркшейдерских работ лучше подходит оборудование для наземного лазерного сканирования [3]. Существует множество приборов разных производителей (рис. 7), которые классифицируются по:

- а) дальности действия;
- б) точности измерения расстояний;
- в) скорости выполнения измерений и другим техническим характеристикам.

Конечным результатом полевых работ при лазерном сканировании является облако точек объекта, которое представляет собой основу для дальнейшей камеральной обработки, например, трехмерного моделирования объекта, определения его геометрических размеров и параметров деформации, визуализации построенной модели.

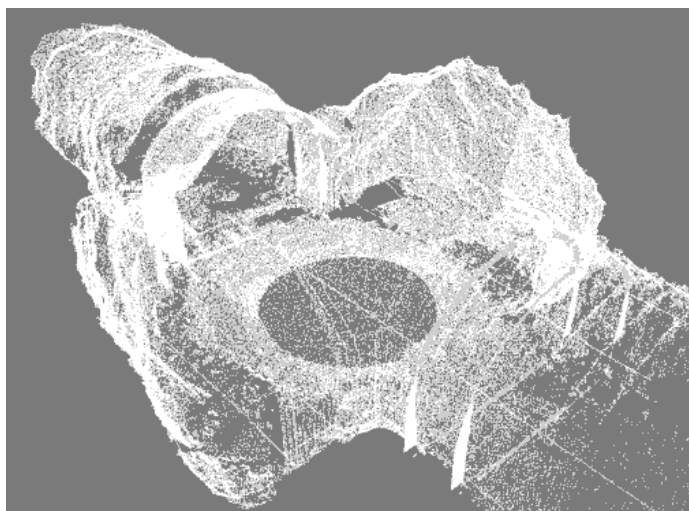


Рисунок 6 — Результат подземной лазерной съемки — массив точек

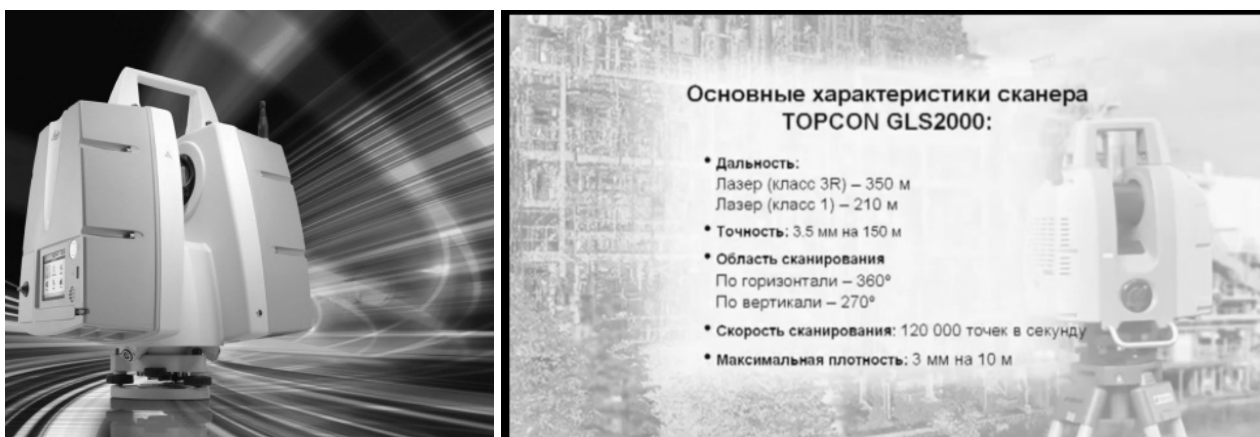


Рисунок 7 — Внешний вид наземного лазерного сканера, технические характеристики

ЛС эффективно проявило себя при определении объемов добытого полезного ископаемого. Наряду с высокой скоростью измерений значительно повышается уровень безопасности персонала, так как отпадает необходимость установки отражателя на подошвах и бровках откосов.

В общем случае, лазерный сканер может быть установлен на любой платформе, в том числе авиационной (рис. 8). В этом случае точность съемки будет зависеть от высоты полета.

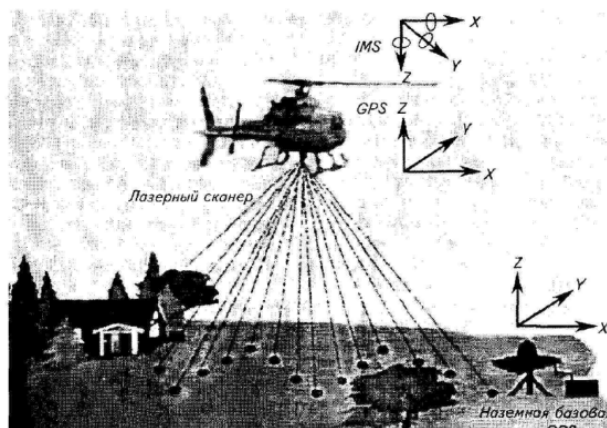


Рисунок 8 — Принцип действия воздушной лазерной сканирующей системы

Существует методика передачи координат по вертикальному шахтному стволу с помощью лазерно-сканирующей системы [4].

Таким образом, применение технологий дистанционного зондирования повышает эффективность маркшейдерско-геодезических работ (повышает производительность, во многих случаях — точность и детальность, безопасность). Несмотря на высокую стоимость отдельных видов оборудования и съемок, доказана экономическая целесообразность рассматриваемых методов при исследовании крупных либо геометрически сложных объектов.

### Список литературы

1. Роскосмос [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.roscosmos.ru/24707/>.
2. Кацарский И. С. О цифровой фотограмметрии и перспективах ее применения / И. С. Кацарский // Геопрофи. — 2006. — № 1. — С. 4–8.
3. Основы наземной лазерно-сканирующей съемки : учеб. пособие / В. Н. Гусев [и др.]. — Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет), 2007. — 86 с.
4. Гриднев С. О. Анализ погрешностей ориентирно-соединительной съемки, выполненной лазерной сканирующей системой / Гриднев С. О., Охотин А. Л. // Вестник ИрГТУ. — 2013. — № 9 (80). — С. 130–139.

© Николаенко В. В.

**Nikolayenko V. V. (DSTU, Alchevsk, LPR)**

### REMOTE SENSING IN GEODESY AND MARKSHEADERY

*The main aspects of the use of remote sensing as indirect measurement methods in solving applied problems in surveying and geodetic practice are considered.*

**Key words:** *remote sensing, spacecraft, natural resources, spatial resolution, stereo model, photogrammetry, laser scanning.*