

Тема 2.3. Применение дистанционного зондирования Земли и спутниковой навигации в нефтегазовой отрасли

Метод дистанционного зондирования Земли: характеристики и достоинства

Получение и обработка данных для ГИС – наиболее важный и трудоемкий этап создания подобных информационных систем. В настоящее время самым перспективным и экономически целесообразным считается метод получения данных об объектах на основе данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и GPS-измерений.

В широком смысле дистанционное зондирование – это получение любыми неконтактными методами информации о поверхности Земли, объектах на ней или в ее недрах. Традиционно к данным дистанционного зондирования относят только те методы, которые позволяют получить из космоса или с воздуха изображение земной поверхности в каких-либо участках электромагнитного спектра.

Существует несколько видов съемки, использующих специфические свойства излучений с различными длинами волн. При проведении географического анализа, помимо собственно ДЗЗ, обязательно используются пространственные данные из других источников – цифровые топографические и тематические карты, схемы инфраструктуры, внешние базы данных. Снимки позволяют не только выявлять различные явления и объекты, но и оценивать их количественно.

Достоинства метода дистанционного зондирования Земли заключается в следующем:

- актуальность данных на момент съемки (большинство картографических материалов безнадежно устарели);
- высокая оперативность получения данных;
- высокая точность обработки данных за счет применения GPS – технологий;
- высокая информативность (применение спектральной, инфракрасной и радарной съемки позволяет увидеть детали, не различимые на обычных снимках);
- экономическая целесообразность (затраты на получение информации посредством ДЗЗ существенно ниже наземных полевых работ);
- возможность получения трехмерной модели местности (матрицы рельефа) за счет использования стереорежима или лидарных методов зондирования и, как следствие, возможность проводить трехмерное моделирование участка земной поверхности (системы виртуальной реальности).

Дистанционные методы характеризуются тем, что регистрирующий прибор значительно удален от исследуемого объекта. При таких исследованиях явлений и процессов на земной поверхности расстояния до объектов могут измеряться от единиц до тысяч километров. Это обстоятельство обеспечивает необходимый обзор поверхности и позволяет получать максимально генерализованные изображения.

Существуют различные классификации ДЗЗ. Отметим наиболее важные с точки зрения практического сбора данных в нефтегазовой отрасли.

Регистрироваться может собственное излучение объектов и отраженное излучение других источников. Этими источниками могут быть Солнце или сама съемочная аппаратура. В последнем случае используется когерентное излучение (радары, сонары и лазеры), что позволяет регистрировать не только интенсивность излучения, но также и его поляризацию, фазу и доплеровское смещение, что дает дополнительную информацию. Понятно, что работа самоизлучающих (активных) сенсоров не зависит от времени суток, но зато требует значительных затрат энергии. Таким образом, виды зондирования по источнику сигнала:

- активное (вынужденное излучение объектов, инициированное искусственным источником направленного действия);
- пассивное (собственное, естественное отраженное или вторичное тепловое излучение объектов на поверхности Земли, обусловленное солнечной активностью).

Съемочная аппаратура может размещаться на различных платформах. Платформой может быть космический аппарат (КА, спутник), самолет, вертолет и даже простая тренога. В по-

следнем случае мы имеем дело с наземной съемкой боковых сторон объектов (например, для архитектурных и реставрационных задач) или наклонной съемкой с естественных или искусственных высотных объектов. Третий вид платформы не рассматривается в силу того, что он относится к специальностям, далеким от той, для которой написаны данные лекции.

На одной платформе может размещаться несколько съемочных устройств, называемых инструментами или сенсорами, что обычно для КА. Например, спутники Ресурс-О1 несут сенсоры МСУ-Э и МСУ-СК, а спутники SPOT – по два одинаковых сенсора HRV (SPOT-4 – HRVIR). Понятно, что чем дальше находится платформа с сенсором от изучаемого объекта, тем больший охват и меньшую детализацию будут иметь получаемые изображения.

Поэтому в настоящее время **выделяют следующие виды съемки для получения данных дистанционного зондирования:**

1. Космическая съемка (фотографическая или оптико-электронная):
 - панхроматическая (чаще в одном широком видимом участке спектра) – простейший пример черно-белая съемка;
 - цветная (съемка в нескольких, чаще реальных цветах на одном носителе);
 - многозональная (одновременная, но раздельная фиксация изображения в разных зонах спектра);
 - радарная (радиолокационная);
2. Аэрофотосъемка (фотографическая или оптико-электронная):
 - те же виды ДЗЗ, что и в космической съемке;
 - лидарная (лазерная).

Оба вида съемки находят широкое применение в нефтегазовой отрасли при создании ГИС предприятия, при этом каждый из них занимает свою нишу. **Космическая съемка (КС)**, имеет более низкое разрешение (от 30 до 1 м в зависимости от типа съемки и типа космического аппарата), но за счет этого охватывает большие пространства. Космическая съемка используется для съемки больших площадей в целях получения оперативной и актуальной информации о районе предполагаемых геологоразведочных работ, базовой подосновы для создания глобальной ГИС на район разработки полезных ископаемых, экологического мониторинга нефтяных разливов и т.п. При этом используется как обычная монохромная (черно-белая съемка), так и спектрально-зональная.

Аэрофотосъемка (АФС), позволяет получать изображение более высокого разрешения (от 1-2 м до 5-7 см). Аэрофотосъемка используется для получения высоко детальных материалов для решения задач земельного кадастра применительно к арендуемым участкам добычи полезных ископаемых, учета и управления имуществом. Кроме того, использование аэрофотосъемки на сегодняшний день представляется оптимальным вариантом получения данных для создания ГИС на линейно-протяженные объекты (нефте-, газопроводы и т.д.) за счет возможности применения «коридорной» съемки.

Характеристики получаемых снимков (и АФС, и КС), т.е. возможность обнаружить и измерить то или иное явление, объект или процесс зависят от характеристик сенсоров соответственно. Главной характеристикой является разрешающая способность.

Системы ДЗЗ характеризуются несколькими видами разрешений: пространственным, спектральным, радиометрическим и временным. Под термином «разрешение» обычно подразумевается пространственное разрешение.

Пространственное разрешение (рисунок 1) характеризует размер наименьших объектов, различимых на изображении. В зависимости от решаемых задач, могут использоваться данные низкого (более 100 м), среднего (10 – 100 м) и высокого (менее 10 м) разрешений. Снимки низкого пространственного разрешения являются обзорными и позволяют одномоментно охватывать значительные территории – вплоть до целого полушария. Такие данные используются чаще всего в метеорологии, при мониторинге лесных пожаров и других масштабных природных бедствий. Снимки среднего пространственного разрешения на сегодня – основной источник данных для мониторинга природной среды. Спутники со съемочной аппаратурой, работающей в этом диапазоне пространственных разрешений, запускались и запускаются многими странами – Россией, США, Францией и др., что обеспечивает постоянство и непрерывность наблюдения. Съемка вы-

сокого разрешения из космоса до недавнего времени велась почти исключительно в интересах военной разведки, а с воздуха – с целью топографического картографирования. Однако сегодня уже есть несколько коммерчески доступных космических сенсоров высокого разрешения (КВР-1000, IRS, IKONOS), позволяющих проводить пространственный анализ с большей точностью или уточнять результаты анализа при среднем или низком разрешении.

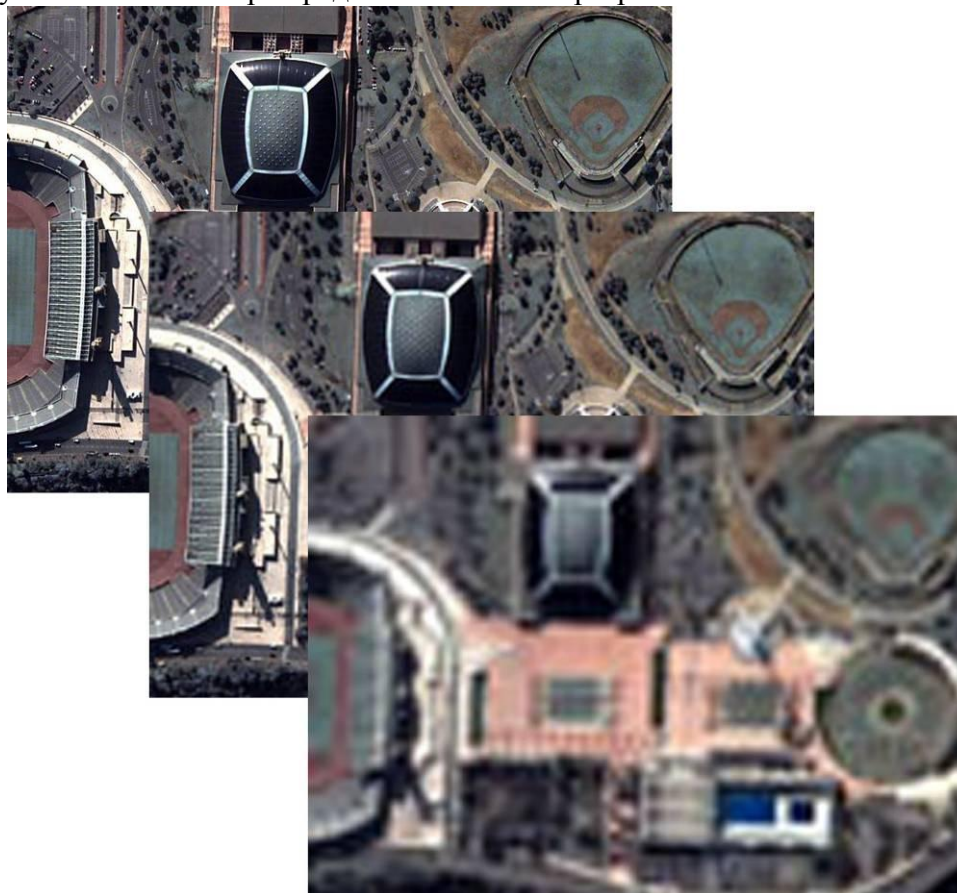


Рисунок 1. Примеры аэрофотоснимков различного пространственного разрешения: 0,6 м (вверху), 2 и 6 м (внизу)

Спектральное разрешение указывает на то, какие участки спектра электромагнитных волн (ЭМВ) регистрируются сенсором. При анализе природной среды, например, для экологического мониторинга, этот параметр – наиболее важный. Условно весь диапазон длин волн, используемых в ДЗЗ, можно поделить на три участка – радиоволны, тепловое излучение (ИК-излучение) и видимый свет. Такое деление обусловлено различием взаимодействия электромагнитных волн и земной поверхности, различием в процессах, определяющих отражение и излучение ЭМВ.

Наиболее часто используемый диапазон ЭМВ – видимый свет и примыкающее к нему коротковолновое ИК-излучение. В этом диапазоне отражаемая солнечная радиация несет в себе информацию, главным образом, о химическом составе поверхности. Подобно тому, как человеческий глаз различает вещества по цвету, сенсор дистанционного зондирования фиксирует «цвет» в более широком понимании этого слова. В то время как человеческий глаз регистрирует лишь три участка (зоны) электромагнитного спектра, современные сенсоры способны различать десятки и сотни таких зон, что позволяет надежно выявлять объекты и явления по их заранее известным спектрограммам. Для многих практических задач такая детальность нужна не всегда. Если интересующие объекты известны заранее, можно выбрать небольшое число спектральных зон, в которых они будут наиболее заметны. Так, например, ближний ИК-диапазон очень эффективен в оценке состояния растительности, определении степени ее угнетения. Для большинства приложений достаточный объем информации дает многозональная съемка со спутников LANDSAT (США), SPOT (Франция), Ресурс-О (Россия). Для успешного проведения съемки в этом диапазоне длин волн необходимы солнечный свет и ясная погода.

Обычно оптическая съемка ведется либо сразу во всем видимом диапазоне (панхроматическая), либо в нескольких более узких зонах спектра (многозональная). При прочих равных

условиях, панхроматические снимки обладают более высоким пространственным разрешением. Они наиболее пригодны для топографических задач и для уточнения границ объектов, выделяемых на многозональных снимках меньшего пространственного разрешения.

Тепловое ИК-излучение (рисунок 2) несет информацию, в основном, о температуре поверхности. Помимо прямого определения температурных режимов видимых объектов и явлений (как природных, так и искусственных), тепловые снимки позволяют косвенно выявлять то, что скрыто под землей – подземные реки, трубопроводы и т.п. Поскольку тепловое излучение создается самими объектами, для получения снимков не требуется солнечный свет (он даже, скорее, мешает). Такие снимки позволяют отслеживать динамику лесных пожаров, нефтяные и газовые факелы, процессы подземной эрозии. Следует отметить, что получение космических тепловых снимков высокого пространственного разрешения технически затруднительно, поэтому сегодня доступны снимки с разрешением около 100 м. Много полезной информации дает также тепловая съемка с самолетов.

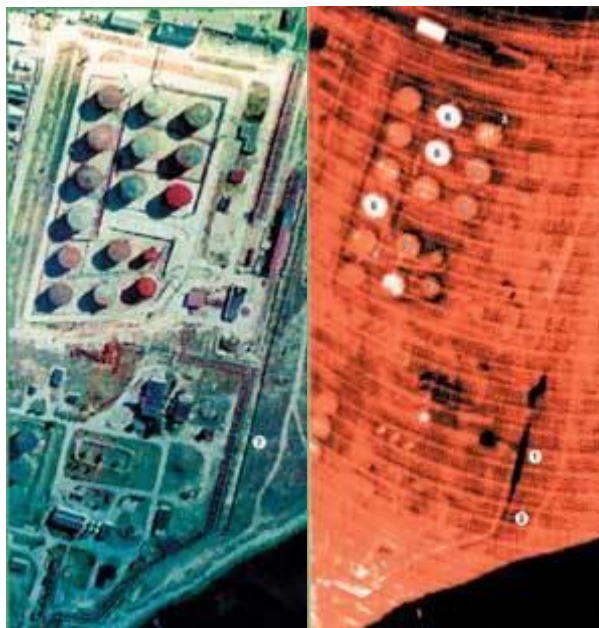


Рисунок 2. Аэроснимок нефтебазы в диапазоне видимого света (слева) и ночной тепловой снимок в ИК-диапазоне той же территории (справа)

Сантиметровый диапазон радиоволн используется для радарной съемки. Важнейшее преимущество снимков этого класса – в их всепогодности. Поскольку радар регистрирует собственное, отраженное земной поверхностью, излучение, для его работы не требуется солнечный свет. Кроме того, радиоволны этого диапазона свободно проходят через сплошную облачность и даже способны проникать на некоторую глубину в почву. Отражение сантиметровых радиоволн от поверхности определяется ее текстурой («шероховатостью») и наличием на ней всевозможных пленок. Так, например, радары способны фиксировать наличие нефтяной пленки толщиной 50 мкм (рисунок 3) и более на поверхности водоемов даже при значительном волнении. В принципе, радарная съемка с самолетов способна обнаруживать подземные объекты, например, трубопроводы и утечки из них.

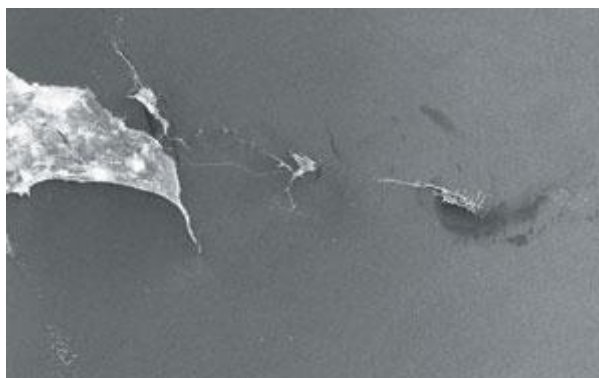


Рисунок 3. Радарный снимок нефтяного пятна на поверхности воды

Радиометрическое разрешение определяет диапазон различимых на снимке яркостей. Большинство сенсоров обладают радиометрическим разрешением 6 или 8 бит, что наиболее близко к мгновенному динамическому диапазону зрения человека. Но есть сенсоры и с более высоким радиометрическим разрешением (10 бит для AVHRR и 11 бит для IKONOS), позволяющим различать больше деталей на очень ярких или очень темных областях снимка. Это важно в случаях съемки объектов, находящихся в тени, а также когда на снимке одновременно находятся большие водные поверхности и суша. Кроме того, такие сенсоры, как AVHRR имеют радиометрическую калибровку, что позволяет проводить точные количественные измерения.

Наконец, временное разрешение определяет, с какой периодичностью один и тот же сенсор может снимать некоторый участок земной поверхности. Этот параметр весьма важен для мониторинга чрезвычайных ситуаций и других быстро развивающихся явлений. Большинство спутников (точнее, их семейств) обеспечивают повторную съемку через несколько дней, некоторые – через несколько часов. В критических случаях для ежедневного наблюдения могут использоваться снимки с различных спутников, однако, нужно иметь в виду, что заказ и доставка сами по себе могут потребовать немалого времени. Одним из вариантов решения является приобретение приемной станции, позволяющей принимать данные непосредственно со спутника. Это удобное решение для ведения постоянного мониторинга используется некоторыми организациями на территории России, обладающими приемными станциями данных со спутников Ресурс-О. Для отслеживания изменений на какой-либо территории важна также возможность получения архивных (ретроспективных) снимков.

В таблице 1 приведены краткие характеристики основных типов космических аппаратов дистанционного зондирования Земли коммерческого использования, применение которых возможно для решения задач по созданию и обновлению ГИС предприятий нефтегазового комплекса.

Таблица 1 – Краткие характеристики космических аппаратов для получения данных дистанционного зондирования Земли коммерческого использования

Название КА	Разрешение панхроматическое	Разрешение мультиспектральное	Размер кадра	Страна
QuickBird 2	0,61 м	2,44 м	16 x 16 км	США
Iconos 2	1 м	4 м	11 x 11 км	США
EROS A1	1,8 м	-	12,5 x 12,5 км	США
KBP - 1000	2 м	-	40 x 40 км	Россия
Spot 5	5 м(2,5 м)	10 м	60 x 60 км	Франция
TK - 350	10 м	-	200 x 300 км	Россия
Landsat 7	15 м	30 м	170 x 185 км	США

Кроме того, ДЗЗ могут классифицироваться по различным видам разрешения и охвата, по типу носителя данных (фотографические и цифровые), по принципу работы сенсора (фотоэффект, пироэффект и др.), по способу формирования (развертки) изображения, по специальным возможностям (стереорежим, сложная геометрия съемки), по типу орбиты, с которой производится съемка, и т.д.

Для приема и обработки данных ДЗЗ с космических аппаратов используются **наземные комплексы приема и обработки данных (НКПОД)**.

В состав базовой конфигурации НКПОД входят (рисунок 4):

- антенный комплекс;
- приемный комплекс;
- комплекс синхронизации, регистрации и структурного восстановления;
- программный комплекс.



Рисунок 4. Состав наземного комплекса приема и обработки данных

НКПОД обеспечивает:

- формирование заявок на планирование съемки земной поверхности и приема данных;
- распаковку информации с сортировкой по маршрутам и выделением массивов видеоинформации и служебной информации;
- восстановление строчно-линейной структуры видеоинформации, декодирование, радиометрическую коррекцию, фильтрацию, преобразование динамического диапазона, формирование обзорного изображения и выполнение других операций цифровой первичной обработки;
- анализ качества полученных изображений с использованием экспертных и программных методов;
- каталогизацию и архивацию информации;
- геометрическую коррекцию и геопривязку изображений с использованием данных о параметрах углового и линейного движения космических аппаратов и/или опорных точек на местности;
- лицензионный доступ к данным, получаемых со многих зарубежных спутников ДЗЗ.

Аппаратная составляющая НКПОД работает в тесной взаимосвязи с программным комплексом. **Программное обеспечение для управления антенным и приемным комплексом выполняет следующие основные функции:**

- автоматическую проверку функционирования аппаратной части НКПОД;
- расчет расписания сеансов связи, т. е. прохождения спутника через зону видимости НКПОД;
- автоматическую активизацию НКПОД и прием данных в соответствии с расписанием;
- расчет траектории спутника и управление антенным комплексом для сопровождения спутника;
- форматирование принимаемого информационного потока и запись его на жесткий диск;
- индикацию текущего состояния системы и информационного потока;
- автоматическое ведение журналов работы.

Программное обеспечение дает возможность управления НКПОД с удаленного терминала через локальную сеть или сеть Интернет.

В состав программного обеспечения НКПОД, как правило, входят средства для ведения электронного каталога изображений и архивации. Поиск изображений в каталоге выполняется по следующим основным признакам: наименование спутника, тип съемочной аппаратуры и режим ее работы, дата и время съемки, территория (географические координаты).

Дополнительно может устанавливаться программное обеспечение для визуализации, фотограмметрической и тематической обработки данных ДЗЗ, такое как:

- INPHO (компания INPHO, Германия) – полнофункциональная фотограмметрическая система;
- ENVI (корпорация ITT Visual Information Solutions, США) – программный комплекс для обработки данных ДЗЗ и их интеграции с данными ГИС;
- ArcGIS (компания ESRI, США) – программное решение для построения корпоративных, отраслевых, региональных, государственных ГИС.

Для обеспечения максимального радиуса обзора антенный комплекс должен устанавливаться так, чтобы горизонт был открыт от углов места 2° и выше в любом азимутальном направлении.

Для качественного приема существенным является отсутствие радиопомех в диапазоне от 8,0 до 8,4 ГГц (передающие устройства радиорелейных, тропосферных и других линий связи).

Следует также отметить, что по оценкам экспертов, в ближайшем будущем данные дистанционного зондирования станут основным источником информации для ГИС, в то время как традиционные карты будут использоваться только на начальном этапе в качестве источника статичной информации (рельеф, гидрография, основные дороги, населенные пункты, административное деление).

В настоящее время в нефтегазовой отрасли наблюдается бурный всплеск применения спутниковых навигационных систем, предназначенных для определения пространственного положения объектов. Сегодня применяются две системы второго поколения – американская GPS (Global Positioning System), имеющая также название NAVSTAR, и российская ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система).

Устройство и применение спутниковых систем глобального позиционирования в нефтегазовой отрасли

Основные направления применения спутниковых систем глобального позиционирования при геоинформационном обеспечении предприятий нефтегазового сектора следующие:

- развитие опорных геодезических сетей всех уровней от глобальных до съемочных, а также проведение нивелирных работ в целях геодезического обеспечения деятельности предприятий;
- обеспечение добычи полезных ископаемых (открытая разработка, буровые работы и др.);
- геодезическое обеспечение строительства, прокладки трубопроводов, кабелей, путепроводов, ЛЭП и др. инженерно-прикладных работ;
- землеустроительные работы;
- спасательно-предупредительные работы (геодезическое обеспечение при бедствиях и катастрофах);
- экологические исследования: координатная привязка разливов нефти, оценка площадей нефтяных пятен и определение направления их движения;
- съемка и картографирование всех видов – топографическая, специальная, тематическая;
- интеграция с ГИС;
- применение в диспетчерских службах;
- навигация всех видов – воздушная, морская, сухопутная.

Данные систем глобального спутникового позиционирования (СГСП) применяются в различных (мониторинговые, изыскательские, исследовательские и т.п.) системах, где требуется

жесткая пространственно-временная привязка результатов измерений. Основными достоинствами СГСП являются: глобальность, оперативность, всепогодность, точность, эффективность.

О тенденциях развития этих систем можно судить по объему продаж спутниковых приемников GPS/ГЛОНАСС, который удваивается через каждые 2-3 года.

Обе системы имеют двойное назначение – военное и гражданское, поэтому излучают два вида сигналов: один с пониженной точностью определения координат (~100 м) L1 для гражданского применения и другой высокой точности (~10-15 м и точнее) L2 для военного применения. Для ограничения доступа к точной навигационной информации вводят специальные помехи, которые могут быть учтены после получения ключей от соответствующего военного ведомства (США для NAVSTAR и России для ГЛОНАСС). Для NAVSTAR L1=1575,42 МГц и L2=1227,6 МГц. В ГЛОНАСС используется частотное разделение сигналов, т. е. каждый спутник работает на своей частоте и, соответственно, L1 находится в пределах от 1602,56 до 1615,5 МГц и L2 от 1246,43 до 1256,53 МГц. Сигнал в L1 доступен всем пользователям, сигнал в L2 – только военным (то есть, не может быть расшифрован без специального секретного ключа).

В настоящее время эти помехи отменены, и точный сигнал доступен гражданским приемникам, однако в случае соответствующего решения государственных органов стран-владельцев военный код может быть снова заблокирован (в системе NAVSTAR это ограничение было отменено только в мае 2000 года и в любой момент может быть восстановлено).

В составе систем глобального спутникового позиционирования можно выделить три компонента:

- наземную систему контроля и управления;
- системы космических аппаратов;
- аппаратуру пользователей.

Система контроля и управления состоит из станций слежения за спутниками, службы точного времени, главной станции с вычислительным центром и станций загрузки данных на борт космических аппаратов. Спутники проходят над контрольными пунктами дважды в сутки. Собранная информация об орбитах обрабатывается и прогнозируются координаты спутников (эфемериды). По этим данным составляется альманах. Эти и другие данные с наземных станций загружаются на борт каждого спутника.

Принцип работы спутниковых систем навигации основан на измерении расстояния от антенны на объекте (координаты которого необходимо получить) до спутников, положение которых известно с большой точностью. Таблица положений всех спутников называется альманахом, которым должен располагать любой спутниковый приемник до начала измерений. Обычно приемник сохраняет альманах в памяти со времени последнего выключения и если он не устарел — мгновенно использует его. Каждый спутник передает в своем сигнале весь альманах. Таким образом, зная расстояния до нескольких спутников системы, с помощью обычных геометрических построений, на основе альманаха, можно вычислить положение объекта в пространстве, поскольку в системе глобального спутникового позиционирования каждый спутник выполняет роль отдельного геодезического опорного пункта с известными координатами в текущий момент времени. Координаты измеряемого объекта, на котором находится навигационный приемник, определяются методом линейных засечек. Измеренные параметры определяют поверхности положения, в точке пересечения которых находится искомый объект.

Метод измерения расстояния от спутника до антенны приемника основан на определенности скорости распространения радиоволн. Для осуществления возможности измерения времени распространяемого радиосигнала каждый спутник навигационной системы излучает сигналы точного времени, в составе своего сигнала, используя точно синхронизированные с системным временем атомные часы. При работе спутникового приемника его часы синхронизируются с системным временем, и при дальнейшем приеме сигналов вычисляется задержка между временем излучения, содержащимся в самом сигнале, и временем приема сигнала. Располагая этой информацией, навигационный приемник вычисляет координаты антенны. Дополнительно накапливая и обрабатывая эти данные за определенный промежуток времени, становится возможным вычислить такие параметры движения, как скорость (текущую, максимальную, среднюю), пройденный

путь и т. д. Измерения производятся в так называемом беззапросном режиме, когда передатчик на спутнике работает непрерывно, а навигационный приемник включается по мере надобности.

Произведем рассмотрение **состава системы космических аппаратов**.

Спутники NAVSTAR располагаются в шести плоскостях на высоте примерно 20 180 км. Спутники ГЛОНАСС (шифр «Ураган») находятся в трех плоскостях на высоте примерно 19 100 км. Номинальное количество спутников в обеих системах – 24. Группировка NAVSTAR полностью укомплектована в апреле 1994-го и с тех пор поддерживается, группировка ГЛОНАСС была полностью развернута в декабре 1995-го, но затем значительно деградировала и лишь в сентябре 2010 была укомплектована до штатного количества 24 (а также два резервных спутника).

На рисунке 5 представлены навигационные спутники Navstar-2 и Глонасс-М.

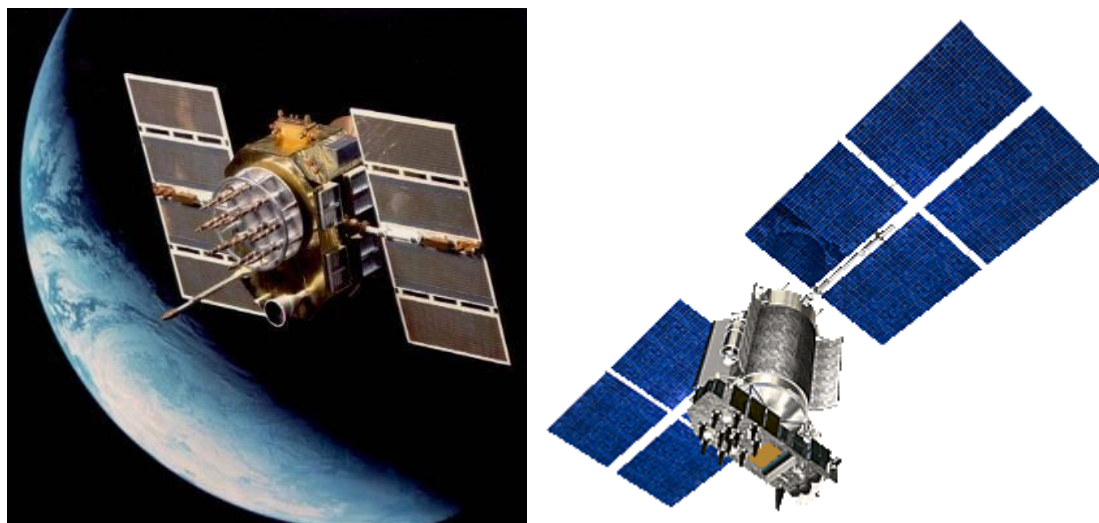


Рисунок 5. Спутники навигационных систем GPS (слева) и ГЛОНАСС (справа)

24 спутника обеспечивают 100 % работоспособность системы в любой точке земного шара, но не всегда могут обеспечить уверенный прием и хороший расчет позиции. Поэтому, для увеличения точности позиционирования и резерва на случай сбоев, общее число спутников на орбите поддерживается в большем количестве. Для GPS это количество равно 30 (6 резервных), а для ГЛОНАСС – 26 (2 резервных). Также невысокое наклонение орбит спутников (примерно 55° для GPS и $64,8^\circ$ для ГЛОНАСС) серьезно ухудшает точность в приполярных районах Земли, так как спутники невысоко поднимаются над горизонтом.

Обе системы используют сигналы на основе т. н. «псевдошумовых последовательностей», применение которых придает им высокую помехозащищенность и надежность при невысокой мощности излучения передатчиков.

Каждый спутник системы, помимо основной информации, передает также вспомогательную, необходимую для непрерывной работы приемного оборудования. В эту категорию входит полный альманах всей спутниковой группировки, передаваемый последовательно в течение нескольких минут. Таким образом, старт приемного устройства может быть достаточно быстрым, если он содержит актуальный альманах (порядка одной минуты), т.е. был выключен менее 3-4 часов – это называется «теплый старт» (приемник получает только эфемериды спутников), но может занять и до 30-ти минут, если приемник вынужден получать полный альманах – т. н. «холодный старт». Необходимость в «холодном старте» возникает обычно при первом включении приемника, либо если он долго не использовался (более 70 часов) или был перемещен на значительное расстояние. Существует также «горячий старт» (приемник выключен менее 30 минут), когда работа приемника начинается немедленно с небольшой ошибкой, корректируемой в процессе измерения координат.

Общим недостатком использования любой радионавигационной системы является то, что при определенных условиях сигнал может не доходить до приемника, или приходиться со значительными искажениями или задержками. Например, практически невозможно определить свое точное местонахождение в глубине внутри железобетонного здания, в подвале или в тоннеле. Так как рабочая частота GPS лежит в дециметровом диапазоне радиоволн, уровень приема сигнала от спутников может серьезно ухудшиться под плотной листвой деревьев или из-за очень большой

облачности. Нормальному приему сигналов GPS могут повредить помехи от многих наземных радиостанций, а также от магнитных бурь.

Для искусственного подавления сигналов спутниковых навигационных систем используются передатчики активных помех. Впервые широкой общественности передатчики разработки российской компании «Авиаконверсия» были представлены в 1997 году на авиасалоне МАКС-1997.

Точность определения координат может варьироваться в широких пределах от нескольких десятков метров до десятков сантиметров и зависит от способов измерений, которые делятся на:

- абсолютные способы определения геоцентрических координат (автономные, дифференциальные);
- относительные способы определения пространственных векторов – базовых линий (статические, кинематические).

Наибольшую точность обеспечивают дифференциальные и относительные статические способы. В их основе лежит способ измерения координат с двух станций находящихся друг от друга на относительно небольшом удалении (до 30 км). При этом считается, что на таких расстояниях измерения с двух станций до спутников искажены одинаково. Подобные методы измерений позволяют проводить профессиональные геодезические навигационные приемники таких фирм как: Leica (Швейцария), Ashtech (США), Trimble (США) и некоторые другие.

В дифференциальном способе в приемниках должна быть предусмотрена возможность реализации дифференциального режима. Сущность данного метода заключается в следующем. Один приемник ставится на пункте с заранее известными координатами (например, опорном пункте геодезической сети). При этом его называют базовой референц-станцией или контрольно-корректирующей. Другой приемник, подвижный, размещается на определяемой точке. Поскольку координаты базовой станции известны, то их можно использовать для сравнения с вновь определяемыми и находить на этой основе поправки для подвижной станции, которые передаются на подвижную станцию по радиоканалу посредством специального передатчика. Мобильная станция, получив дифференциальные поправки, корректирует свои измеренные координаты, тем самым повышая точность измерения.

Наиболее ощутимые выгоды от внедрения идеи исключения погрешностей достигнуты в способах относительных статических измерений. Как и в дифференциальном режиме, аппаратуру устанавливают на двух станциях, например А и В. В статике по разностям, свободным от многих искажений, вычисляют соединяющий эти станции пространственный вектор D:

$$D = (X_B - X_A, Y_B - Y_A, Z_B - Z_A).$$

Базовая станция должна иметь точные координаты, чтобы по измеренным приращениям можно было вычислить координаты остальных пунктов геодезической сети с требуемой точностью. Благодаря измерению приращений координат и применению фазового метода погрешности в результатах определения координат пунктов сведены к нескольким десяткам сантиметров. Эти способы являются основными в геодезических и важнейших геодезических работах.

Существуют целые сети, вырабатывающие дифференциальные поправки для навигационных приборов по вышеописанным принципам. О них рассказывается далее.

Использование тех или иных видов навигационных приемников и методов измерений зависит от требований к точности определения координат опорных точек. Нет никакого смысла использовать дорогие геодезические приемники и продолжительные по времени методы измерений для получения координат опорной точки в целях привязки, например, снимков КА Landsat с разрешением 15 (30) м. В этом случае достаточно использовать простейшие недорогие навигационные приемники, обеспечивающие приемлемую точность в 5-20 м. Важно подчеркнуть, что точность всех навигационных приемников зависит не только от длительности проведения отдельных измерений и метода измерений, но и от числа видимых спутников над горизонтом, а также характера и открытости местности (равнина или застроенная территория), влияющего на переотражение сигнала.

Точность системы ГЛОНАСС в настоящее время несколько ниже, чем GPS, – 4,46-8,38 м при использовании в среднем 7-8 космических аппаратов (в зависимости от точки приема). В то

же время ошибки GPS составляют 2,00-8,76 м при использовании в среднем 6-11 космических аппаратов (в зависимости от точки приема). При совместном использовании обеих навигационных систем ошибки составляют 2,37-4,65 м при использовании в среднем 14-19 космических аппаратов (в зависимости от точки приема). Согласно заявлениям главы Роскосмоса Анатолия Перминова, принимаются меры по увеличению точности. К концу 2010 году повысится точность расчета эфемерид и ухода бортовых часов, что приведет к увеличению точности навигационных определений до 5,5 метров. Сделано это будет за счет модернизации наземного сегмента на 7 пунктах наземного комплекса управления – устанавливается новая измерительная система с высокими точностными характеристиками. В 2011 году количество спутников в группировке планируется увеличить до 30. Параллельно с этим будет идти замена спутников Глонавс-М на более совершенные Глонавс-К (поддерживают новые CDMA сигналы в формате GPS/Galileo/Compass, которые значительно облегчат разработку мультисистемных навигационных приборов) и Глонавс-К2 (транслирует сигналы с кодовым разделением: два сигнала в диапазонах частот L1 и L2 и открытый сигнал в диапазоне L3), что повысит точность до 2,8 м.

Для увеличения точности навигации используют системы, которые посылают уточняющую информацию («дифференциальную поправку к координатам» – DGPS, теоретические аспекты формирования которой были рассмотрены выше), позволяющую повысить точность измерения координат приемника до нескольких метров и даже до нескольких десятков сантиметров при использовании сложных дифференциальных режимов. Дифференциальная поправка основана на геостационарных спутниках и наземных базовых станциях. Каждая из станций оборудована GPS аппаратурой и специальным программным обеспечением, предназначенным для приема GPS сигналов, анализа полученных измерений, вычисления ошибок ионосферы, отклонений траекторий и часов спутников. Эти данные передаются на центральную станцию управления (Master Station – WMS), где повторно обрабатываются и анализируются с учетом измерений, полученных со всех базовых станций сети. Затем корректирующая информация передается на геостационарные спутники и уже оттуда ретранслируются пользователям. Сигнал от геостационарным спутников принимается аналогично сигналу от спутников навигационной системы по одному или нескольким каналам. DGPS может быть платной (расшифровка сигнала возможна только одним определенным приемником после оплаты «подписки на услугу») или бесплатной.

В настоящее время существуют бесплатные американская система WAAS, европейская система EGNOS, японская система MSAS основанные на нескольких передающих коррекции геостационарных спутниках, позволяющих получить высокую точность (до 30 см). В России лишь в Калининградской области возможно полнофункционально использовать сигналы от системы EGNOS. На остальной территории прием дифференциальной поправки невозможен.

Ключевым вопросом в организации спутниковой навигации является выбор устройств для приема сигнала, т.е. **аппаратуры пользователя**. Потребителям предлагаются различные устройства и программные продукты, позволяющие видеть свое местонахождение на электронной карте; имеющие возможность прокладывать маршруты с учетом рельефа местности; искать на карте конкретные объекты по координатам или адресу и т.д. При этом навигационный приемник может быть выполнен как отдельное устройство, или же навигационный чип встраивается в другое оборудование, например, мобильные телефоны, смартфон, КПК или онбордер (бортовой компьютеры). На рисунке 6 приведены примеры навигаторов: вверху – без поддержки карт (слева – собственно GPS-навигатор Magellan Blazer 12 в удароустойчивом влагозащищенном корпусе, справа – навигация с помощью сотового телефона (iPhone), закрепленного на руле велосипеда), внизу – автонавигатор Glospace с поддержкой карт.

Сравнивая оборудование для GPS и ГЛОНАСС можно сказать, что все приемники ГЛОНАСС позволяют работать и с GPS, но не наоборот. Возможен одновременный прием сигналов обеих навигационных систем, дающий более точные координаты. Комбинированная ГЛОНАСС/GPS аппаратура профессионального уровня изготавливается многими производителями, в том числе зарубежными фирмами Topcon, Javad, Trimble, Septentrio, Ashtech, NovAtel, SkyWave Mobile Communications. Основной причиной, по которой ГЛОНАСС не используется в чистом виде, является отсутствие качественных цифровых карт, а также громоздкость и слишком высокое энергопотребление самих приемников (по этим причинам чипы ГЛОНАСС не встраиваются в

мобильное оборудование). Однако идет постепенное уменьшение этих параметров и на данный момент существуют полнофункциональные чипы с поддержкой систем – ГЛОНАСС/GPS, а также GALILEO/COMPASS.



Рисунок 6. Навигаторы

В нефтегазовой отрасли широкое распространение получили GPS-трекеры и GPS-логгеры, которые ведут запись и передачу координат на серверный центр и используются для спутникового мониторинга автомобилей, людей, активов и т.д. Эти данные используются диспетчерскими службами для организации эффективного управления транспортом и персоналом.

GPS-трекер фиксирует данные о местоположении и с регулярными интервалами передает их посредством радиосвязи, GPRS- или GSM-соединения, спутникового модема на серверный центр мониторинга или просто компьютер со специальным программным обеспечением через USB, RS-232, PS/2. Пользователь трекера, либо диспетчер ведущий мониторинг за объектом, может подключиться к серверу системы, используя программу-клиент либо web-интерфейс под своим логином и паролем. Система отображает местонахождение объекта и историю его перемещения – трек – на карте (рисунок 7). Передвижения трекера можно анализировать либо в режиме реального времени, либо позже. Собственных дисплеев GPS-трекеры не имеют и за счет этого дешевле своих собратьев – навигаторов.

Для мониторинга персонала используются персональные трекеры (малого размера), а для мониторинга транспорта – автомобильные. Автотрекеры позволяют подключать различные датчики (уровня топлива, нагрузки на ось и т.д.) и сами подключены к бортовой сети. Для автомобильных трекеров предусмотрено также подключение внешней антенны.



Рисунок 7. Трек

GPS-логгеры не только не имеют дисплея, но и не содержат модулей передачи данных (GSM-модулей), поэтому не пригодны для мониторинга в реальном времени. Информация логгера записывается во время движения во встроенную память и становится доступной после подключения к компьютеру для ее анализа.

В тех случаях, когда необходимо предоставить дополнительные возможности помимо простого занесения координаты в память приемника, используются собственно навигаторы (почти всегда, GPS-навигаторы). Они обладают широким кругом возможностей, обзор которых выходит за рамки нашего изложения. Основными из них для нефтегазовой отрасли является возможность отображения карт различного профиля, прокладка маршрутов на местности, поиск и определение координат объектов и т.д.

Например, данные возможности использовали специалисты BG Transco – компании, занимающейся обслуживанием более 10000 км подземных газопроводов, – для определения местоположения сооружений, попадающих в потенциально опасную область вблизи газопровода в случае критических ситуаций. Для этого использовали панхроматическое спутниковое изображение с разрешением на местности 1 м для анализа буферных зон в областях с высокой плотностью населения. Изображение было привязано по опорным точкам, полученным с помощью GPS-приемника. На изображение была наложена аналитическим методом (по координатам) трасса газопровода и в результате пространственного анализа была вычислена 200-метровая буферная зона потенциального риска и все объекты, находящиеся в ней.

Другим примером является постройка магистрального нефтепровода протяженностью 450 км в Ненецком Автономном округе РАО «Роснефтегазстрой». В качестве главного источника информации были использованы снимки космического аппарата Landsat, позволившие получить наиболее достоверную и оперативную информацию о местности в районе предполагаемой прокладки нефтепровода. На основе цифровой модели рельефа были созданы цифровые модели территории планируемого объекта, выполнены расчеты углов поворота, величины и направления уклонов по трассе нефтепровода.

Профессиональные GPS-навигаторы отличается качеством изготовления компонентов (особенно антенн), используемым программным обеспечением (ПО), поддерживаемыми режимами работы (например RTK, binary data output), рабочими частотами (L1 + L2), алгоритмами подавления интерференционных зависимостей, солнечной активности (влияние ионосферы), поддерживаемыми системами навигации (например, NAVSTAR GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Beidou), увеличенным запасом электропитания и разумеется, ценой.

Необходимо отметить, что в настоящее время наметилась тенденция к тесной интеграции GPS-технологий и методов получения и обработки данных дистанционного зондирования Земли, проявляющейся в основном в области аэрофотосъемки. Уже достаточно длительное время при съемочных работах используют аэрофотокамеры некоторых производителей, интегрированные с GPS-приемниками (рисунок 8), которые при фотосъемке местности фиксируют пространственные трехмерные координаты центра проекции каждого кадра. Использование данной технологии

по оценке специалистов позволяет сократить в 20-30 раз число опорных точек, требуемых для фотограмметрической обработки материалов облета, что существенно повышает производительность работ и снижает суммарную стоимость затрат на получение исходных данных.



Рисунок 8. Аэрофотокомплекс, интегрированный с GPS-приемником

Таким образом, при создании ГИС применяют комбинированные источники информации: сочетание методов дистанционного зондирования Земли космическими аппаратами различной детальности, данные GPS-измерений, лазерная и стереосъемка, данные с топокарт и т.п. Все зависит только от требований, предъявляемых к системе. Можно утверждать, что комбинация информации, получаемой с помощью различных средств дистанционного зондирования Земли и данных GPS-измерений, позволит получить полную и исчерпывающую информацию о любом объекте наиболее оперативно и достоверно, а также полностью обеспечит все потребности для информационного обеспечения любого проекта, любой системы, любого предприятия.

Устойчивый рост применения геоинформационных технологий на предприятиях нефтегазового комплекса, наметившийся в последнее время, обусловлен не только развитием возможностей самих ГИС, но и тесной интеграцией данных информационных систем с GPS-технологиями и технологиями получения и обработки данных дистанционного зондирования Земли.