

#1
2008

ГЕОПРОФИ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ПО ГЕОДЕЗИИ, КАРТОГРАФИИ И НАВИГАЦИИ

9 МАРТА
«ДЕНЬ РАБОТНИКОВ
ГЕОДЕЗИИ
И КАРТОГРАФИИ»

РЕФРАКЦИЯ В
ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ
ИЗМЕРЕНИЯХ

НОВАЯ КОМПАНИЯ
«ГНСС ПЛЮС»

ТЕХНОЛОГИИ ГНСС:
ОБОРУДОВАНИЕ
НАЗЕМНАЯ
ИНФРАСТРУКТУРА
МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ
АТТЕСТАЦИЯ

АЭРОМЕТОДЫ:
ЦИФРОВЫЕ КАМЕРЫ
ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ
ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНАЯ
СЪЕМКА

КОСМИЧЕСКИЕ
РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ
ДАННЫЕ

ТЕМА ПОЧАСУ
с. 2-3



19 января 2008 г. доктору технических наук, профессору Аполлинарию Львовичу Островскому исполнилось 85 лет. Он прошел суровую военную школу, сражаясь с оружием в руках против немецко-фашистских захватчиков, и только после окончания Великой Отечественной войны (1941–1945) поступил на геодезический факультет Львовского политехнического института, в котором и занимается преподавательской и научной деятельностью вот уже более 60 лет.

Его педагогический талант, профессиональные качества, плодотворная творческая работа, умелое руководство преподавательским и научным коллективами позволили ему не только создать теорию «единства рефракции и турбулентности атмосферы», но и сформировать львовскую школу изучения влияния атмосферной рефракции на геодезические измерения. Под его руководством защищено около 30 кандидатских и докторских диссертаций.

В последние годы одним из новых научных направлений А.Л. Островского является геодинамика и разработка эффективных геодезических методов исследования деформаций инженерных сооружений. Он является создателем и главным редактором научного журнала «Геодинамика», одним из организаторов международного симпозиума «Геодезический мониторинг окружающей среды», который ежегодно проходит в г. Алушта (Украина, Крым).

Редакция журнала поздравляет А.Л. Островского с юбилейной датой и желает ему крепкого здоровья, неуывающей энергии, новых научных достижений и талантливых учеников!

ДОСТИЖЕНИЯ И ЗАДАЧИ РЕФРАКТОМЕТРИИ

А.Л. Островский (Национальный университет «Львовская политехника», Украина)

В 1951 г. окончил геодезический факультет Львовского политехнического университета (в настоящее время — Национальный университет «Львовская политехника»). После его окончания до настоящего времени работает в университете. Доктор технических наук, профессор. Автор более 200 научных статей, монографий, учебных пособий.



▼ Сущность рефрактометрии. Ее связь с науками о Земле

Рефрактометрия — это наука о неравномерном и непрямолинейном распространении электромагнитных волн (ЭМВ) в трехмерной неоднородной по плот-

ности среде и о методах исключения систематических погрешностей измерений углов и длин, вызванных этой неоднородностью. Такой средой обычно является изотропная атмосфера Земли и межпланетные пространства. Полагаем, что впервые термин «рефрактометрия» применен в работе [1], где под таким названием имелись в виду исследования исключительно неравномерности распространения ЭМВ.

Скоро будет десять лет, как мы живем в третьем тысячелетии. Оглядываясь на предыдущие тысячелетия, можно с гордостью утверждать, что они не прошли даром для человечества, а ознаменовались значительным развитием наук, особенно наук о планете Земля, таких как геодезия, геофизика, геодинамика, астрономия, космическая

геодезия и другие. В частности, статическая геодезия, изучающая форму и размеры Земли и ее гравитационное поле, преобразовалась из трехмерной в четырехмерную, кинематическую, изучающую изменения вышеупомянутых параметров во времени и, постепенно, превращается в динамическую, изучающую причины этих изменений.

Как известно [2], геодезия изучает планетарный геоид с точностью 0,2–0,3 м, региональный — с точностью 0,07–0,1 м, локальный — с точностью 0,01–0,05 м. При этом планетарный геоид подтверждает гидростатичность Земли в целом. Кривая распределения мощности континентальной коры подобна кривой распределения высот геоида. Отрицательные аномалии высот соответствуют толще земной коры $h > 50$ км. В

целом глобальная аномалия высот и толща земной коры отрицательно коррелированы. Между тем, это открытие глобального характера не свойственно локальным геоструктурам. Имеют место положительные корреляции геоида с рельефом, например, пик Эвереста, поднятый на 57 м над геоидом Гималайского региона. Есть предположения, что волны геоида в десятки километров, обусловленные неоднородностью земной коры, также имеют положительную корреляцию с рельефом.

Очевидна роль геодезии в изучении движения земной коры, прогнозировании землетрясений, выявлении закономерностей размещения полезных ископаемых. Недалеко то время, когда геодезия проникнет в тайны тектонических явлений и будет изучать строение, движение и развитие Земли.

Заметим, что обычно, основную надежду дальнейшего развития геодезии исследователи возлагают на космическую геодезию. Между тем, парадокс, но реальный факт: высоты геодинамических пунктов определяются с использованием глобальных навигационных спут-

никовых систем (ГНСС) в 3–10 раз грубее, чем их широты и долготы. Другими словами, вертикальную составляющую, несущую важную информацию, мы определяем наиболее грубо. По существу, если в плановом отношении технологии ГНСС обеспечивают миллиметровую точность, то в высотном отношении — только сантиметровую.

Объективные расчеты показывают, что если пункты разнесены на расстояние до 100 км, то высоты с помощью геометрического нивелирования I класса, выполняемого в соответствии с действующей инструкцией, определяются точнее, чем при использовании приемников ГНСС. Между тем, современные электронные нивелиры могут обеспечить точность в 2,5–3 раза выше, чем этого требует действующая инструкция. Возможности усовершенствованных методов геометрического нивелирования превышают точность спутниковых методов при расстояниях между пунктами до 400 км. Поэтому наилучшего результата можно достичь, рационально комбинируя наземные и космические методы при исследовании планетарных и региональных процессов.

Извечной проблемой любой науки является необходимость повышения точности измерений, т. е. повышения скрупулезности исследований. В настоящее время общепризнано, что наибольшими систематическими погрешностями пространственных измерений углов и линий является неоднородность атмосферы по плотности. Отсюда понятна значимость рефрактометрии в познании Вселенной. Вообще, строго говоря, непрямолинейность и неравномерность распространения света и радиоволн вызваны пространственной неоднородностью показателя преломления атмосферы n , который является функцией плотности атмосферы

p . При этом, на скорость распространения ЭМВ влияет именно показатель преломления воздуха, а непрямолинейность распространения (рефракцию) вызывают градиенты показателя преломления. Изменения скорости распространения ЭМВ, искажающие измеренные дальности, получили название фазовых задержек. Пространственные кривые распространения ЭМВ называют рефракционными кривыми.

В зависимости от того, наблюдаются ли с поверхности Земли удаленные земные предметы, естественные небесные тела (звезды, планеты) или искусственные небесные тела (спутники) различают земную, спутниковую и астрономическую рефрактометрию.

В целях исследований пространственные кривые распространения ЭМВ условно проектируют на вертикальную и горизонтальную плоскости, и получают составляющие (проекции) пространственной кривой, показанные на рис. 1. Различают полные σ и частичные δ углы рефракции. Для учета влияния рефракции на измерения вертикальных углов, горизонтальных углов и азимутов необходимо и достаточно знать частичные углы рефракции δ_{BA} , δ_{BC} , δ_{CA} , δ_{CB} .

Напомним, что на результаты геометрического нивелирования оказывает влияние линейная рефракция r , искажающая отсчеты с нивелирных реек. По малости этих искажений можно просто и почти безошибочно перейти от угловой к линейной рефракции или наоборот:

$$r = \delta_B'' L / \rho'', \quad (1)$$

где L — расстояние от рейки до нивелира; ρ'' — число угловых секунд в радиане.

Не менее важные проблемы рефрактометрии связаны с измерением длин свето- и радиодальномерными системами, в которых расстояние определя-

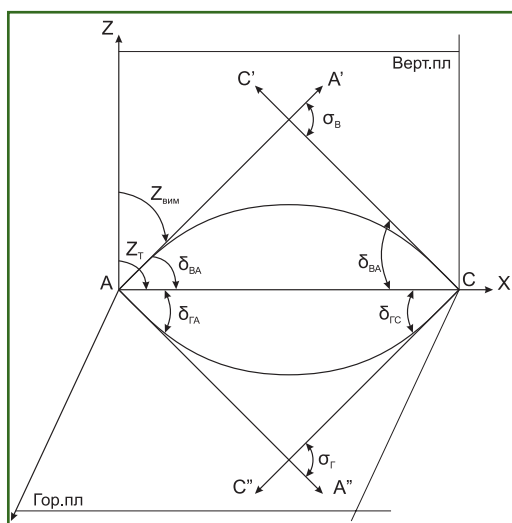


Рис. 1

Определение частных и полных углов вертикальной и горизонтальной рефракции

ется посредством измерения отрезков времени τ распространения ЭМВ только в прямом или в прямом и обратном направлениях. В последнем случае формула определения длины отрезка L имеет вид:

$$L = (C_0/\bar{n}) \cdot (\tau/2), \quad (2)$$

где C_0 — скорость распространения электромагнитных волн в вакууме, а $\bar{n}$ — средний интегральный показатель преломления воздуха на заданном пути L . При измерениях длин ограничиваются определением показателя преломления воздуха на конечных точках трассы.

Так как $\bar{n} \neq (n_1 + n_2)/2$, то измеренные расстояния искажены погрешностями ΔL_n .

Поскольку ЭМВ распространяются криволинейно, это, в свою очередь, вносит систематическую погрешность ΔL_k , так как необходимо знать длину замыкающей хорды, которая короче пространственной кривой.

Таким образом, суммируя сказанное, наука рефрактометрии призвана решать сложные проблемы определения показателя преломления и его градиентов во множестве точек среды, в которой распространяются ЭМВ. Без этих данных невозможны высокоточные пространственные измерения.

▼ Основные этапы развития и барьеры на пути решения задач рефрактометрии

Обосновано старейшей рефрактометрией считается астрономическая рефрактометрия. Хотя первые сведения, дошедшие до нас, об астрономической рефракции относятся к I столетию нашей эры, вероятно, что о ней было известно значительно раньше, в древнем Египте и Китае. Это естественно, так как рефракционное искажение солнечного диска видно невооруженным глазом при восходе и заходе Солнца, о чем, собственно, и говорится в работах Клеомеда и Птолемея.

Именно Клеомед обратил внимание на то, что, ввиду непрямолинейности распространения света можно видеть небесные тела даже тогда, когда они расположены ниже горизонта. Птоломей первый предложил определить углы астрономической рефракции путем сравнения зенитных углов, наблюдаемых с теми, которые рассчитываются теоретически. Эпоха средневековья более чем на тысячелетие парализовала мысль человечества.

Только в 1489 г. Б. Вальтер впервые определил астрономическую рефракцию методом, предложенным Птоломеем, и установил, что у горизонта угол рефракции приблизительно равен полградуса. Первую теорию рефракции создал И. Кеплер в 1604 г. Он ошибочно считал, что атмосфера, окутывающая Землю, однородна по плотности. Зарождение наземной рефрактометрии мы связываем с творцом законов преломления света голландским ученым В. Снеллиусом (1580–1626), предложившим, как известно, также метод триангуляции для определения больших длин.

Дальнейшими продолжателями изучения рефракции, наверно, следует считать французских академиков Ж.-Д. Кассини (1625–1712), который первый применил законы преломления в теории рефракции, и Ж. Пикара (1620–1682), достойно оценившего предложенный В. Снеллиусом метод триангуляции и построившего триангуляционную сеть вдоль дороги из Парижа на Амьен для определения размеров Земли. Интересно, что эти данные использовал Ньютон, подтверждая свои гениальные открытия. Ж. Пикар первый установил сетку нитей в окуляре зрительной трубы, чем значительно повысил точность угловых измерений, и не мог не заметить действия рефракции на эти измерения.

Однако тогда исследователей интересовала непрямолинейность распространения ЭМВ. Только с появлением первых свето- и радиодальномеров (середина XX века) возникла наземная рефрактометрия, а с появлением первых искусственных спутников — спутниковая рефрактометрия.

Именно поэтому в настоящее время следует говорить о рефрактометрии, как об отдельной области знаний, так как круг задач, которые она призвана решать, существенно расширился. Таким образом, рефрактометрия одновременно является старой и молодой наукой.

Зарождение любой науки, изучающей явления природы, начинается с дискуссий: существует или нет некоторое явление в природе; если установлено, что явление существует — изучаются его закономерности, устанавливается полезно или нет это явление для человечества. Такие же этапы развития прошла и рефрактометрия.

Назовем более поздние этапы ее развития.

1. Установление качественных и количественных характеристик влияния атмосферы на результаты измерений углов и длин [3].

2. Разработка общей теории непрямолинейности (рефракции) и неравномерности (фазовых задержек) распространения ЭМВ; вывод формул для определения поправок в результаты измерений.

К сожалению, применение этих формул, как правило, невозможно, прежде всего потому, что требует знания мгновенных градиентов температуры и значения n во многих точках на пути распространения ЭМВ, а эти параметры — не известны. Это является главным барьером на пути развития рефрактометрии.

Понятно, все же, что без теории рефрактометрии немыслима.

3. Поиск единого коэффициента вертикальной рефракции.

Введение коэффициента, независимого от длины и высоты луча вдоль трассы над поверхностью Земли, привело бы к исключению атмосферных влияний на измерения разности высот точек (превышений).

Известно, что коэффициентом рефракции K называют отношение радиуса Земли R_3 к радиусу световой кривой R_c , т. е.:

$$K = R_3/R_c. \quad (3)$$

При $K = \text{Const}$ проблема вертикальной рефракции была бы решена. Действительно, влияние кривизны Земли K_3 на превышение точно определяется простой формулой:

$$K_3 = (1/2) \cdot (L^2/R_3), \quad (4)$$

и если $K = \text{Const}$ и известно (например, $K = 0,145$), тогда влияние рефракции на превышение находится просто:

$$r = 0,145 \cdot K_3. \quad (5)$$

Столетиями велись поиски единого коэффициента рефракции K , и безуспешно.

В настоящее время точно известно, что о едином коэффициенте рефракции не только для государства, но и для отдельного участка работ не может быть и речи. Коэффициент рефракции изменяется в пределах от +6 до -6.

С некоторым приближением можно вести речь о едином коэффициенте только для нормальной (безразличной) стратификации атмосферы. Такое состояние длится при ясной погоде утром и вечером, максимум по полчаса. В это время $K = 0,145$. С такой же точностью известен и угол нормальной рефракции, который равен:

$$\delta_n = 2,35 \cdot 10^{-3} L. \quad (6)$$

На основе (6) и (1) получим формулу поправки за нормальную рефракцию в превышения без коэффициента рефракции:

$$r_n = 0,11 \cdot 10^{-7} L^2. \quad (7)$$

Отсюда видно, что достаточно знать длину трассы L . Заметим, что точность формулы (7)

при нормальной стратификации такая же, как в формуле (5). Иными словами, понятие коэффициента рефракции в современной рефрактометрии потеряло смысл.

4. Разделение рефракции на нормальную и аномальную.

Проблема определения нормальной вертикальной рефракции решается (что понятно из вышеизложенного).

Главным объектом исследований остается аномальная вертикальная рефракция, которая на один-два порядка больше нормальной.

5. Введение А.А. Изотовым и Л.П. Пеллиным понятия эквивалентной высоты $h_{экв}$ [4]. Установлено, что на угловые величины рефракции влияют не средние высоты луча над земной поверхностью, а средние весовые, о чем еще будет идти речь.

Имея в виду и зная $h_{экв}$, можно определять γ -градиенты температуры на любой высоте по формуле:

$$\gamma = \gamma_1/h_{экв}, \quad (8)$$

где γ_1 — градиент температуры на высоте 1 м, который всегда можно измерить; $h_{экв}$ — эквивалентная высота.

Казалось бы, проблема определения γ во множестве точек решена, однако это не так. Дело в том, что над различными подстилающими поверхностями градиент температуры γ в один и тот же момент — разный; кроме того, выяснилось, что при различных стратификациях воздуха степень $h_{экв}$ равна не единице, а некоторой переменной.

В результате формулы А.А. Изотова и Л.П. Пеллины, к сожалению, дают только приблизительные результаты.

6. Изучение распределения метеорологических параметров с высотой. Прежде всего, исследование градиентов температуры и влажности, от которых функционально зависит искомое распределение аномального показателя преломления. Ха-

рактер градиентов температуры и влажности зависит от физико-географических особенностей регионов, которые очень разнообразны и поэтому до конца не изучены.

Дальнейшее изучение пространственного распределения показателя преломления n остается актуальным.

7. Разработка методов определения и учет действия рефракции и фазовых задержек на угловые и линейные измерения — собственно рефрактометрия.

Существующие методы можно разделить на две группы: косвенные (не прямые) и прямые. Первая группа развивается почти 400 лет и отличается большим разнообразием. Вторая — сравнительно молодая, насчитывает приблизительно 100 лет. В первой группе можно выделить несколько подгрупп, а во второй — только отдельные методы.

К косвенным методам относятся: метеорологический, геодезический и статистический, к прямым — дисперсионный, компенсационный, изменения морского горизонта (пригодный только для вертикальной рефракции), турбулентный.

8. Широкое применение теории турбулентности атмосферы для определения рефракции и интегрального показателя преломления.

Более 50 лет львовская школа рефракции ведет исследования в этой области и достигла определенных успехов, прежде всего, изучая именно турбулентные колебания фазы визирных целей. Об этом подробнее остановимся ниже.

9. Исследования, кроме флуктуаций фазы, других оптических проявлений турбулентности, а именно:

— флуктуации света по яркости (по колебаниям амплитуды);
— изменениям среднего размера источника излучения у

фокальной плоскости зрительной трубы;

— размытию турбулентностью резкости изображений специальных визирных марок.

Наиболее просто технически реализуется измерение флуктуаций яркости (колебания амплитуды). Однако этот метод невозможно применять для длинных приземных трасс.

Метод исследования флуктуации размера изображения обременен значительными систематическими погрешностями.

Наиболее перспективным оказался метод исследования колебания визирных целей (колебания фазы).

10. Исследования в области рефрактометрии, к сожалению, имеют значительные достижения только для термической турбулентности атмосферы. В то же время, пока не разработаны кардинальные, автоматизированные методы исключения влияния на пространственные измерения неоднородной по плотности атмосферы при инверсии температуры и динамической турбулентности.

▼ Львовская школа рефракции и ее вклад в развитие рефрактометрии

Профессора Львовского политехнического института А.Д. Моторный и М.К. Мигаль стоят у истоков зарождения львовской школы рефракции. Под их руководством ассистенты кафедры геодезии Д.И. Маслич и А.Л. Островский в 1952–1953 гг. выполнили первые исследования в области рефрактометрии и написали монографии по темам кандидатских диссертаций: «Исследование вертикальной рефракции и точности тригонометрического нивелирования в горных условиях» (автор Д.И. Маслич, научный руководитель М.К. Мигаль) и «Исследование боковой рефракции в полигонометрии» (автор А.Л. Островский, научный руководитель

А.Д. Моторный), которые успешно защитили. Монографии были одобрены профессорами А.А. Изотовым и А.С. Чеботаревым. Более того, А.С. Чеботарев в кратком письме от 6 декабря 1958 г., адресованном автору данной статьи, писал: «Вопрос полигонометрической рефракции заслуживает того, чтобы заняться им как следует». В 1964 г. была опубликована статья «Геодезический метод учета влияния атмосферы на результаты светодальномерных измерений» (автор А.Л. Островский). Предложенный в статье метод впервые использовался институтом физики Земли АН СССР для выяснения причин землетрясения в Ташкенте путем проверки гипотезы надвигов горной системы Тянь-Шань на систему Памир. Для этого было необходимо с высокой точностью измерять линию, которая соединяет отроги этих систем, и следить за изменениями ее длины. Метод оказался пригодным для такой цели.

В 1966 г. совместным решением Министерства геологии СССР и Министерства образования УССР была создана отраслевая лаборатория по изучению атмосферных влияний на астрономо-геодезические измерения (ОНИЛ-18). Первым научным руководителем этой лаборатории стал М.К. Мигаль, а первыми руководителями тем научных исследований — Д.И. Маслич, А.Л. Островский и Л.С. Хижак.

В 1967 г. руководство лаборатории ОНИЛ-18 получило письмо от ЦНИИГАиК, в котором, в частности, предлагалось: «... в связи с возложенными на лабораторию обязательствами изучения атмосферных влияний на точность геодезических измерений, просим рассмотреть вопрос о создании в районе Карпат эталонного геодезического полигона...». Такой полигон можно было создать, только используя светодально-

мерные измерения, при которых, каким-то образом, определять средне-интегральные значения показателя преломления воздуха на пути световых волн. Такого метода, кроме дорогостоящего аэростатного зондирования, в то время не было. Длины линий на Карпатском эталонном полигоне (9 пунктов 25 сторон) были измерены с погрешностью 3×10^{-7} . Это дало возможность вычислить горизонтальные углы с погрешностями 0,1–0,2".

В 1973 г. автор этой статьи защитил докторскую диссертацию, а в 1974 г. возглавил руководство лабораторией. К этому времени по вопросам рефрактометрии во Львовском политехническом институте было защищено около 20 кандидатских диссертаций. Геодезический факультет стал центром исследования рефрактометрии в СССР.

В апреле 1974 г., во Львове, на базе геодезического факультета и ОНИЛ-18 состоялось первое Всесоюзное совещание «Современные методы учета и исключения рефракции световых волн при геодезических и астрономических измерениях». В решении этого совещания были указаны рациональные методы учета атмосферных влияний и дальнейшие направления и цели исследований в области рефрактометрии.

В последующем отраслевая лаборатория достигла признанных успехов в рефрактометрии. Достаточно сказать, что в области рефрактометрии защищены 8 докторских и более 40 кандидатских диссертаций, получены десятки патентов и авторских свидетельств, опубликовано 4 монографии, более 1000 научных статей. Последние годы лаборатория работает над проблемой создания геодинамических сетей на АЭС, их математической оптимизации. По этой тематике защитил докторскую



Рис. 2

Коллектив лаборатории ГНДЛ-18

диссертацию К.Р. Третьяк, который в настоящее время возглавляет ОНИЛ-18 (ГНДЛ-18) и является директором института геодезии НУ «Львовская политехника» (рис. 2).

В сравнительно короткой статье трудно изложить более чем пятидесятилетнюю историю деятельности лаборатории. Назовем только наиболее важные, по нашему мнению, этапы этой деятельности (подробнее см. в [3]).

1. Благодаря государственному финансированию научно-исследовательских работ за почти 25 лет лаборатория ОНИЛ-18 организовала более 20 полевых, научно-исследовательских экспедиций в различные районы СССР. Экспедиции изучали неравномерности распределения показателя преломления и градиентов показателя преломления атмосферы, вели проверку возможностей применения разработанных методов для минимизации атмосферных влияний, исследовали точность методов (рис. 3).

2. Значительный сбор данных о показателе преломления и его градиентов завершился новой классификацией рефракционных полей, которые до этого классифицировались только по размерам: общеземные, ре-

гиональные и локальные. Новая классификация дала возможность разделить рефракционные поля по характеру их влияния на результаты измерений на два вида:

I. Поля, изменяющие на протяжении суток градиенты показателя на обратные (на 180°);

II. Поля с постоянными направлениями градиентов, в которых на протяжении суток градиенты показателя изменяются только по модулю (по абсолютной величине).

3. Новая классификация позволила найти подсказанные природой методы минимизации этих влияний. Для полей I-го

вида пригодна симметричная программа наблюдений относительно моментов, близких к изотермии (нулевых радиационных балансов), а для полей II-го вида — наблюдения в периоды наибольшей однородности атмосферы.

4. Разработаны методы определения моментов формирования изотермии:

— приборный (балансомерный) — по времени перехода через нуль радиационного баланса;

— статический — по многолетним средним данным метеостанций;

— визуальный — по времени появления спокойных изображений визирных целей при ветре не менее $0,5 \text{ м/с}$.

5. Учет атмосферных влияний на основании решения обратных задач рефракции. Определение вертикальную рефракцию (например, из одновременных двусторонних измерений зенитных углов), находят градиент показателя преломления dn/dz , а потом, зная точечные значения n_1 и n_2 на концах трассы и превышение между конечными точками h , находят интегральный показатель $\bar{n}$ (с контролем):

$$\bar{n} = n_1 \pm (1/2) \cdot dn/dz \cdot h, \quad (9)$$

$$\bar{n} = n_2 \pm (1/2) \cdot dn/dz \cdot h. \quad (10)$$



Рис. 3

Наблюдения астрономической рефракции. Озеро Балхаш (1985 г.)



Рис. 4

Спутниковые GPS-наблюдения. Антарктида, архипелаг Аргентинские острова

Разработан ряд модификаций, уточняющих этот метод.

6. Метод рефракционного базиса, основанный на формуле:

$$\delta_i = \delta_b \cdot (h^{\text{экв.б.}} / h^{\text{экв.и}}) \cdot (L_i / L_b), \quad (11)$$

где δ_i — искомый угол рефракции; δ_b — известный угол рефракции (базис); $h^{\text{экв.б.}}$ и $h^{\text{экв.и}}$ — эквивалентные высоты соответствующих лучей; e — степень эквивалентных высот при данной стратификации атмосферы; L_i и L_b — длины трасс.

7. Определена рефракция на основе измеренных метеорологических параметров.

8. Исследована точность методов учета рефракции. Редуцированы результаты измерения зенитных углов на моменты нулевых аномальных градиентов температуры (автор Б.М. Джуман).

9. Экспериментально доказана формула нивелирной рефракции (автор П.В. Павлив).

$$r = \sigma_{\text{max}} / 2, \quad (12)$$

где σ_{max} — максимальный размах колебаний делений нивелирной рейки.

Формула доказана на основании многолетних экспериментальных исследований, выполненных И.И. Стащенишом [5].

10. Определена боковая рефракция δ_r (при измерении горизонтальных углов и вычисле-

нии азимутов из астрономических наблюдений) решением обратной задачи рефракции [3], на основании формулы:

$$\delta_r = -0,198 / L \cdot \gamma \cdot \Sigma, \quad (13)$$

$$\text{где } \gamma = 0,1230 (T^2 / B) \cdot (\delta_b / L) - 0,0342, \quad (14)$$

$$\text{а } \Sigma = \int_0^L \text{tg} \alpha_i \cdot \cos \psi_i \cdot l \cdot dl. \quad (15)$$

В этих формулах δ_b — вертикальная рефракция, Σ — рефракционная опасность направления; α_i — углы наклона местности на отрезках dl ; ψ_i — определяется по карте (по масштабу заложений); ψ_i — углы между линией визирования и горизонталями на отрезках dl . Зная Σ , можно заранее, используя карту, избрать направления для азимутальных измерений, по которым боковая рефракция не будет превышать 0,1–0,2".

11. Определено действие боковой рефракции и методов ее минимизации при создании городских геодезических сетей (автор И.С. Тревого) [6].

12. На основе теории турбулентности доказана теорема [7]: средняя аномальная вертикальная рефракция за 1–2 секунды равна максимальной амплитуде $\sigma_{\text{max}} / 2$ колебаний визирной цели за это же время. Таким образом, аналитически получена формула:

$$\delta''_{\text{ан.сер.}} = 1/2 \sigma''_{\text{max}}. \quad (16)$$

Формулы (12) и (16) справедливы только при термической турбулентности атмосферы.

13. Установлены степени е эквивалентных высот $h^{\text{экв.}}$ при термической и динамической турбулентности атмосферы.

14. Установлены возможность и точность определения аномальной рефракции цифровыми камерами с ПЗС-датчиками при термической турбулентности.

15. Разработаны методы нахождения аномальной рефракции $\delta_{\text{ан.сер.}}$ и r электронными тахеометрами и нивелирами, которые определяют структурную характеристику турбулентности атмосферы Cn^2 или среднюю квадратическую погрешность отсчета по нивелирной рейке $m_{\text{кв.}}$.

16. Разработан [3] дифференциальный метод определения n_r интегрального показателя преломления радиоволн на основании зависимости между градиентами влажности и температуры:

$$de/dz = 19 \cdot (e/T) \cdot (dT/dz), \quad (17)$$

где de/dz — вертикальный градиент влажности; dT/dz — вертикальный градиент температуры; e — абсолютная влажность; T — абсолютная температура.

17. Получена формула составляющей вертикальной рефракции, обусловленная влажностью воздуха:

$$\delta_{\text{в.в.}} = 79 \cdot (e/T^2) \cdot (dT/dz) \cdot L. \quad (18)$$

Формула не требует знания градиентов влажности.

18. Разработаны специальные приборы автоматизированного определения аномальной вертикальной рефракции (автор А.И. Мороз).

19. Выполнены исследования в области рефрактометрии в Антарктиде (рис. 4). Разработаны методы определения и учета влияния тропосферы на спутниковые измерения [8] (автор Ф.Д. Заболоцкий).

20. Разработаны методы определения и учета электромаг-

нитных полей на измерения, выполненные светодальномерами, спутниковыми приемниками GPS и прецизионными нивелирами (автор П.Г. Черняга).

21. Разработаны методы нахождения рефракционного удлинения трасс, длины которых определены из наземных свет- и радиодальномерных измерений. При длине трасс до 50 км поправки за рефракционное удлинение световых волн могут достигать 8 мм, для радиоволн — 66 мм. Точность определения поправок в пределах 0,5 мм [3].

▼ Некоторые нерешенные проблемы рефрактометрии

1. Главный барьер на пути решения проблемы определения аномальной рефракции принципиально устранен только при неустойчивой стратификации атмосферы, т. е. при термической турбулентности, а еще ранее — при нормальной стратификации атмосферы.

Однако следует отметить, что разработанные геодезические методы определения интегрального показателя преломления n , основанные на решении обратных задач рефракции, можно применять при любой стратификации атмосферы.

2. Современные автоматизированные методы рефрактометрии разрешают определять углы рефракции с точностью 0,7–1,5", а интегральное значение показателя преломления — с точностью $1 \cdot 10^{-7}$. Необходимо разработать методы, уменьшающие эти погрешности хотя бы в два раза.

3. Для инверсии температуры, что имеет место утром, вечером и ночью над сушей, а иногда круглосуточно в нижних слоях атмосферы над водными поверхностями, не разработаны автоматизированные, точные методы определения рефракции, которые позволяли бы (без значительных физических и материальных затрат) удовлетво-

рять требования науки и техники к точности астрономо-геодезических измерений.

4. Разработанная теория определения вертикальной рефракции при динамической турбулентности атмосферы и инверсии температуры не проверена экспериментально и поэтому не установлена точность измерений при ее реализации.

5. В настоящее время, когда спутниковые радионавигационные системы (ГНСС, радионтерферометры со сверхдлинными базами, спутниковые лазерные дальномеры и высотомеры, системы доплеровского определения орбит) все шире применяются в геодезии, геофизике, астрометрии, навигации, метрологии и в других науках о Земле, становится необходимым определение групповых фазовых задержек сигналов и рефракционных искривлений (удлинения) трасс. Как показано в работе [9], суммарная погрешность определения тропосферных задержек составляет 3 см при $Z = 0^\circ$ и около 17 см при $Z = 80^\circ$. В геодезии, например, при эталонировании спутниковых приемников ГНСС, погрешности атмосферных задержек необходимо знать с точностью 0,5–1,0 мм.

6. Недостаточно точна компенсация ионосферных фазовых задержек радиоволн двухчастотными приемниками GPS. На это, безусловно, указывает уже тот факт, что точность измерения с помощью этих приемников ночью в 1,5–2 раза выше, чем днем. Поэтому, несомненно, поиск новых методов решения проблем спутниковой, астрономической и наземной рефрактометрии имеет значительный интерес.

▼ Список литературы

1. Прилепин М.Т. Исследования по геодезической рефрактометрии // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора

технических наук. — 1972. — 34 с.

2. Машимов М.М. Геодезия, геотектоника, сейсмология: Предметы и проблемы их взаимодействия // Геодезия и картография. — 1995. — № 1. — С. 17–28.

3. Островский А.Л., Джуман Б.М., Заблоцкий Ф.Д., Кравцов Н.И. Учет атмосферных влияний на астрономо-геодезические измерения. — Недра, 1990. — 231 с.

4. Изотов А.А., Пеллинен Л.П. Исследования земной рефракции и методов геодезического нивелирования // Тр. ЦНИИГАиК. — 1955. — Вып. 102. — 120 с.

5. Стациниш И.И. Разработка и исследование методов учета нивелирной рефракции в турбулентной атмосфере // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. — Львов, 1988. — 24 с.

6. Тревого И.С., Шевчук П.М. Городская полигонометрия. — Недра, 1986. — 157 с.

7. Ostrovskiy A. Regularities of fluctuations and determination of vertical gradients of temperature and anomalous refraction of the light beam in thermally turbulent atmosphere // Reports on Geodesy Warsaw university of technology. — 1997. — № (2)25. — P. 21–33.

8. Заблоцкий Ф.Д. Особенности формирования влажной составляющей тропосферной задержки в разных регионах // Современные достижения геодезической науки и производства. — Львов, 2002. — С. 121–127.

9. Прокопов А.В., Ремезов Э. Регулярные тропосферные эффекты при оптических и радиотехнических наблюдениях ИСЗ в геодезии, геофизике, навигации, метеорологии // Современные достижения геодезической науки и производства. — Львов, 2004. — С. 125–129.

RESUME

There given theoretical basics on the refractometry as a scientific discipline and its evolution stages with due consideration to solving applied tasks of the Earth sciences. The Lviv geodetic school contribution to the refraction studies within the recent fifty years is described in detail. Several problems in the field of refractometry needing solution are stated.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПРЕВЫШЕНИЙ МЕТОДОМ АНАЛИЗА ШТРИХКОДА

Г.В. Колесников (Урал-СибНИИОС, Новосибирск)

В 2006 г. окончил магистратуру в Новосибирском государственном техническом университете по направлению «оптотехника». С 2003 по 2004 гг. работал в НИИ оптических систем. С 2005 г. работает в филиале Уральского оптико-механического завода — ФГУП ПО «Урал-СибНИИОС», в настоящее время — инженер-конструктор.

М.В. Киселев (Урал-СибНИИОС, Новосибирск)

В 1997 г. окончил Сибирскую государственную геодезическую академию (СГГА). С 2004 г. по настоящее время — начальник отдела КТО ФГУП ПО «Урал-СибНИИОС». Преподает в СГГА основы конструирования оптических систем.

Динамичное развитие вычислительной техники и систем автоматики в последние десятилетия не могло не сказаться на такой отрасли, как геодезическое приборостроение. Оптическое цифровое оборудование все больше вытесняет традиционные измерительные приборы, которые зачастую уже не соответствуют высоким современным требованиям. Основными преимуществами цифровой измерительной техники перед аналоговой являются: быстрота измерений, высокая точность, удобство получения первичных данных и их автоматическая обработка, а также практически полное исключение «человеческого фактора», вплоть до достижения конечного результата работы.

К сожалению, отечественное приборостроение сильно отстает от ведущих мировых производителей, и подавляющее большинство цифровых геодезических приборов, используемых в России, разработано за границей. Одним из таких приборов, широко используемых в геодезической практике, является нивелир. При-

чем, на смену традиционным оптическим нивелирам пришли цифровые (кодовые) нивелиры. В основе определения превышений цифровым нивелиром лежит тот же принцип, что и в классических оптических нивелирах. Однако вместо обычной рейки используется специальная, «кодовая», рейка, а вместо анализатора, определяющего положение визирной оси нивелира на рейке, — не глаз человека, а матричный фотодетектор. Задача оператора состоит лишь в наведении оптической трубы нивелира на рейку, после чего автоматически происходит распознавание, обработка и анализ изображения, и, наконец, выдача результата.

На нивелирную рейку нанесен специальный код, по которому происходит определение превышений. Наиболее распространенным в настоящее время является штриховой код (barcode), пример которого приведен на рис. 1.

Изображение кодовой рейки переносится на фотоприемные устройства (ФПУ), на основе линейных ПЗС, где происходит автоматическое распознавание

кода, определяется значение превышения и выдается результат.

Точность измерения — важнейшее свойство нивелира — зависит от выбранного способа кодирования рейки и алгоритма его обработки. Кодирование рейки и декодирование полученного изображения должны обеспечивать точное определение значения превышения на всем диапазоне дальностей. Основными сложностями при этом считаются переменный масштаб изображения, ограниченное разрешение оптической системы нивелира, недостаточное поле зре-



Рис. 1
Участок штрихового кода

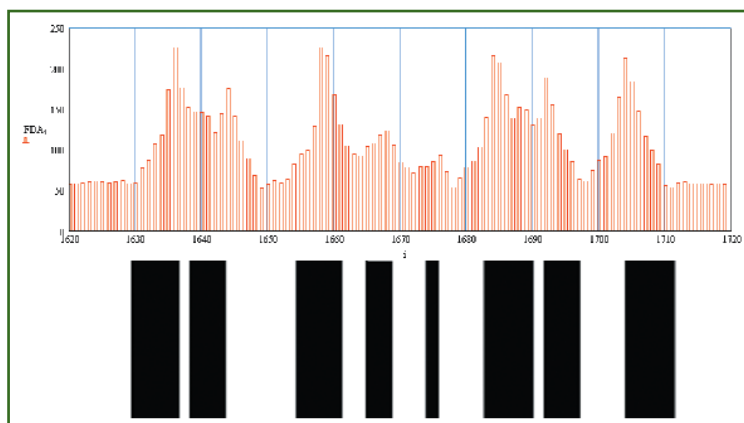


Рис. 2

Сигнал от штрихкода на дальности второй группы

ния нивелира, а также зависимость работы фотодетектора от освещенности.

Перед описанием алгоритма кодирования необходимо конкретизировать то, что должно получиться в итоге. Разрабатываемый алгоритм должен обеспечивать получение результатов с помощью кодового нивелира с использованием нивелирной рейки, размеченной штрихкодом, не хуже, чем с помощью существующих зарубежных аналогов, а именно: дальность работы от 2 до 120 м, точность определения превышений не более 0,6 мм на километр двойного хода.

Участок штрихового кода, нанесенный на рейке и обо-

значающий какой-либо отсчет, должен быть различим нивелиром на максимальной дальности и одновременно умещаться в поле зрения нивелира на минимальной. Для однозначного определения превышения такой участок штрихкода на рейке не должен повторяться, т. е. быть уникальным. Предлагается, что штриховой код на рейке будет представлять наложение нескольких шкал с различной шириной штрихов. На коротких расстояниях оптической системой будут различаться наиболее узкие штрихи, в то время как на дальних — лишь наиболее широкие. Все штрихи могут являться частью одного кода.

Авторы предлагают закодировать рейку так, чтобы каждая целая десятичная цифра обозначалась уникальным участком кода. Участок кода из черных и белых полос — битов — будем называть «цифрой» или «кодовым словом». Предположим, что нивелиру для корректной работы требуется видеть, как минимум, одно кодовое слово.

В силу ограниченности разрешения нивелира штрихи с определенной шириной не различаются и «сливаются». Однако вид кодового участка остается оригинальным при

любом удалении рейки от нивелира. Условно толщина штрихов выбрана таким образом, чтобы их было можно различить в трех группах дальностей в следующих диапазонах: от 1 до 40 м, от 40 до 80 м и от 80 до 120 м.

На рис. 2 представлен сигнал, полученный на дистанции, эквивалентной второй группе. Штрихи минимальной ширины, соответствующие первой, ближней, группе не различаются, однако их сигнал отличен от уровня фона.

Одной из основных задач при составлении кода является максимальное подавление сигнала от неразличимых системой штрихов.

Важным свойством, которым, по мнению авторов, должен обладать штриховой код нивелирной рейки, является устойчивость к ошибкам распознавания. Одной из основных причин возникновения ошибок распознавания считается сильная зависимость сигнала фотодетектора от освещенности объектной сцены. На рис. 3 и 4 приведены уровни сигнала, соответствующие слабой и сильной освещенности.

Итак, способ кодирования рейки должен обеспечивать правильную работу нивелира независимо от:

- масштаба изображения и ограниченности разрешения оптической системы нивелира;

- ошибок считывания, вызванных недостаточной освещенностью, шумами или слабым сигналом.

▼ Код Риды-Соломона

Одним из перспективных алгоритмов для кодирования нивелирной рейки, по мнению авторов, является код Риды-Соломона. Его характерные качества — блочность, цикличность, а также коррекционные возможности оптимально подходят для

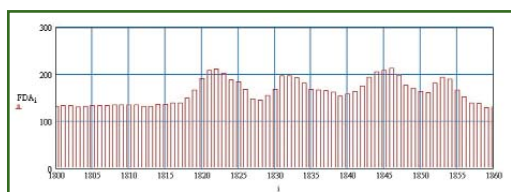


Рис. 3

Вид сигнала при более слабой освещенности

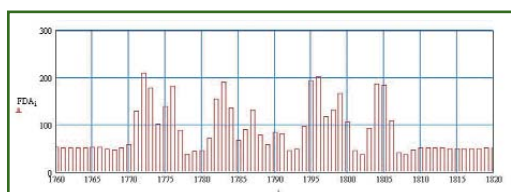


Рис. 4

Вид сигнала при более сильной освещенности

решения задачи нивелирования, описанной выше. Подробнее о кодировании и свойствах кодов можно узнать в [1].

Рассмотрим пример возможного создания участка штрихкода. Будем считать, что для кодирования всех чисел на рейке хватит трех восьмеричных цифр. Примем также, что для корректной работы алгоритма достаточно возможности исправлять две неверно принятые цифры. Поскольку количество исправляемых РС-кодом ошибок вдвое меньше числа избыточных элементов, получаем РС (7, 3), т. е. информационных элементов — 3, избыточных — 4. Не вдаваясь в математические тонкости, информацию о которых можно найти во многих книгах по кодированию [2, 3], закодируем любое число, состоящее из трех восьмеричных цифр. Пусть это будет, например, число «123». При выбранных авторами статьи параметрах кодирования получится следующее кодовое слово:

«0 2 0 1 1 2 3». (1)

В зависимости от выбора порождающего многочлена, расширения поля Галуа и других параметров кодовое слово может быть и другим.

Поскольку классический РС-код обладает цикличностью, можно «раскатать» кодовое слово до его повторения:

«0 2 0 1 1 2 3 0 2 0 1 1 2». (2)

Любая последовательность из семи цифр в (2) представляет собой разрешенное кодовое слово с минимальным кодовым расстоянием 5.

Выбрав какой-либо метод перевода восьмеричных цифр в набор полос черного и белого цветов, можно представить кодовую строку (2) как штрихкод. Для наглядности запишем числа полученного кода наи-



Рис. 5
Пример штрихкода

более простым (и бесполезным) способом, представив каждое восьмеричное число в виде трех двоичных битов. Пусть двоичная единица будет штрихом черного цвета, а ноль — белого. На рис. 5 представлен результат такого обозначения.

Любой участок из двадцати трех полос (7 цифр $\times$ 3 бита + 2 бита) наименьшей толщины содержит уникальное кодовое слово и может быть декодирован с возможностью коррекции ошибок. Работоспособность на дистанциях полученного штрихкода будет ограничена геометрическим разрешением нивелира наиболее узкой полосы.

Очевидно, что для реально работающего штрихкода необходимо использовать другое обозначение цифр на рисунке нивелирной рейки, которое должно «маскировать» тонкие штрихи, неразличимые на средних и больших дальностях.

▼ Функции определения дробной части превышений

Для работы кодового нивелира недостаточно просто определить, на какой отсчет «попала» визирная ось. Что-

бы выполнить заявленные требования по точности, измерения должны быть в 5–10 раз точнее, чем конечный результат, т. е. 0,03–0,06 мм на километр двойного хода. Этот факт приводит к необходимости определения превышений точнее, чем размер пикселя ФПУ и, тем более, размер кодового слова.

Авторы предлагают определять дробную часть превышений в два этапа. На первом этапе определяется положение кодового слова относительно метки нуля с точностью до пикселя. На втором — вычисляется точное значение положения кодового слова относительно метки нуля. Предполагается на первом этапе использовать корреляционный метод, а на втором — анализ спектра изображения нивелирной рейки.

Суть первого этапа заключается в вычислении максимума корреляционной функции и определении по нему положения текущего кодового слова относительно нулевой метки. За нулевую метку можно принять, например, середину определенного пикселя № 500 на ФПУ.

Предположим, имеется обработанный массив значений сигнала вдоль линейного ФПУ, и кодовое слово, на которое выпала нулевая метка, уже декодировано. На рис. 6 показан такой массив значений сигнала (уровни красного цвета), а также его аппроксимация кубическими сплайна-

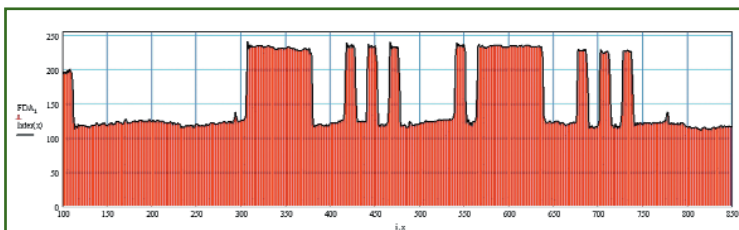


Рис. 6
Массив обработанных значений сигнала вдоль линейного ФПУ

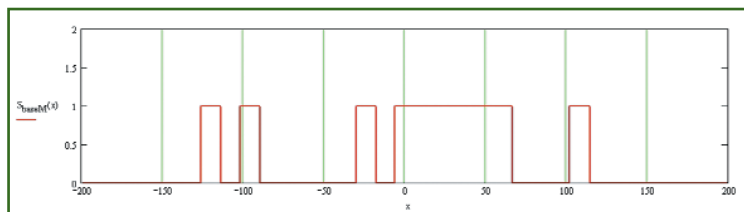


Рис. 7

Идеализированный сигнал от некоторого кодового слова «А»

ми **Inter (x)** — график черного цвета.

В данном примере условная нулевая метка выпала на некоторое кодовое слово «А», идеализированный сигнал от которого представлен на рис. 7.

Идеализированный сигнал задается непрерывной функцией **S_{baseM}(x)** и имеет собственный нулевой отсчет. Положение кодового слова **A** на кодовой рейке получаем, определив максимум корреляционной функции **U(δ)**.

$$b \quad U(\delta) = \text{MashtabV} \int_a \text{Inter}(x) S_{\text{baseM}}(x - \delta) dx,$$

где **a** и **b** — пределы интегрирования, выбираются, исходя из конкретных условий;

MashtabV — масштабирование по вертикали, так как идеализированный сигнал нормирован к единице;

δ — шаг смещения при корреляции, выбирается оптимальным между быстродействием и точностью.

График корреляционной функции **U(x)** при использовании сигналов **Inter(x)** (рис. 6) и **S_{baseM}(x)** (рис. 7) приведен на рис. 8. По нему видно, что максимум функции достигается при значении аргумента **x = 562,3**.

Зная реальный размер штрихкода слова «А» на рейке и определив положение максимума корреляционной функции, можно получить дробную часть к тому, целому значению превышения, ин-

формацию о котором несет кодовое слово. Порядок этой дробной части зависит от масштаба изображения и равен, как минимум, 0,5 пикселя ФПУ. Это означает, что для достижения требуемой точности данного корреляционного метода недостаточно. Поэтому переходим к изложению более сложного метода анализа спектра.

a — смещение по пространственной оси;

i — мнимая единица.

Таким образом, малые значения смещения легче измерять по изменению спектра, нежели напрямую. Поскольку фазовый множитель как функция от частоты и смещения обладает периодичностью, представляется возможным вычислить его период и определить из него точную дробную часть. Т. е. обрабатываем первичный сигнал с ФПУ, получаем изображение и сохраняем его. В полученном изображении находится последовательность штрихов, обозначающих кодовое слово, на которое выпала метка нуля. Начало слова (в общем случае нулем кодо-

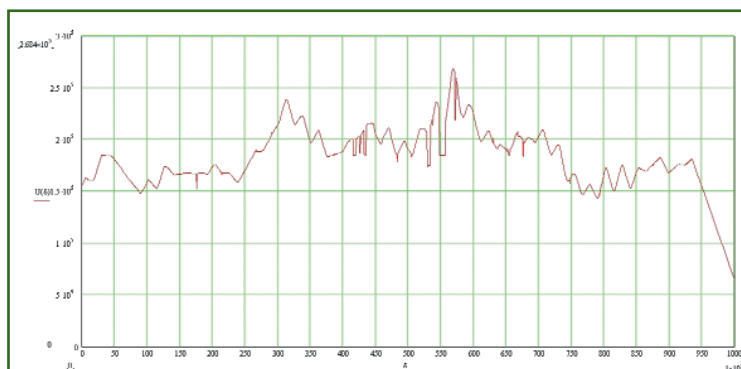


Рис. 8

График корреляционной функции

Метод определения малых превышений основан на выявлении зависимости спектра изображения от малых смещений. Известно, что сдвиг сигнала по одной из пространственных осей приводит к умножению спектра сигнала на фазовый множитель в частотных координатах [4].

$$F(g(x)) = G(f_x) \\ F(g(x - a)) = G(f_x) \times \\ \times \exp[-2\pi i f_x a],$$

где **F** — символ прямого преобразования Фурье;

g(x) — некоторая функция;
G(f_x) — спектр функции **g(x)**;

вого слова может быть не начало, а любое место) смещено относительно нулевой метки прибора. Величину этого смещения с точностью до пикселя определили корреляционным способом, описанным выше. Теперь требуется найти смещение точнее величины пикселя.

Итак, имеем изображение кодового слова, смещенное относительно нулевой метки на какую-то малую величину **ξ**, и можем вычислить его спектр **So(f_x)**:

$$So(f_x) = G(f_x) e^{-2\pi i f_x \xi}.$$

Сохраняем этот спектр

$S_0(f_x)$ в памяти. Затем электронным способом сдвигаем сохраненный ранее сигнал от изображения на малую величину Δ (менее величины пикселя ФПУ), и находим спектр смещенного сигнала. В нем содержится увеличенный фазовый множитель, и спектр такого сигнала будет равен:

$$S_1(f_x) = G(f_x) e^{-2\pi i f_x (\xi + \Delta)}.$$

Снова сохраняем полученный спектр, смещаем исходное изображение на величину 2Δ , и находим спектр. Получив некоторое количество таких функций-спектров, можно проанализировать их и определить период фазового множителя. Вычислив период, можно найти фазу фазового члена при начальном смещении ξ , а значит, и само смещение (рис. 9).

Однако существует ряд трудностей, которые необходимо

преодолеть. Основные из них носят математико-прикладной характер и касаются: дискретности сигнала ФПУ, дискретного спектра такого сигнала, его неопределенности между отсчетами. Одной из задач также является выбор «оконой» функции и учет ее влияния на спектр сигнала.

С более полной информацией по данной тематике можно ознакомиться на сайте <http://nivellier.hut2.ru>.

▼ Список литературы

1. Крис Касперски. Могущество кодов Рида-Соломона, или информация, воскресшая из пепла // Системный администратор. — 2003. — № 11.
2. Постников М.М. Теория Гаула. — М.: Факториал Пресс, 2003. — 304 с.
3. М.Н. Аршинов, Л.Е. Садовский. Коды и математика (рассказы о кодировании). — М.: Наука, 1983. — 144 с.

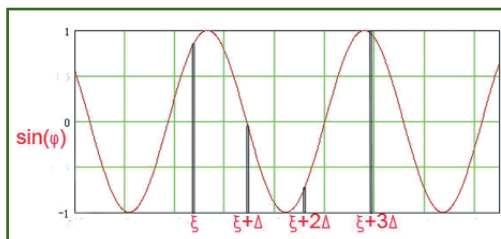


Рис. 9

Пример использования метода анализа спектра

4. Дж. Гудмен. Введение в Фурье-оптику / Пер. с англ., под ред. Косоурова. — М.: Мир, 1970.

RESUME

The article considers the main difficulties and technical problems arising when developing digital (bar-coded) level. There introduced techniques to code the leveling rod as well as considered possible ways to process the rod images obtained in order to determine precise values of differences in elevations.

НАВИГАЦИОННО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ ЦЕНТР

Официальный дистрибьютор в Украине

Leica
Geosystems

Геодезическое оборудование

- Тахеометры TPS
- Теодолиты
- Нивелиры Runner

Лазерное оборудование

- Лазерные сканеры
- Рулетки DISTO™
- Ротационные нивелиры Rugby™
- Построители плоскости LINO™ L2

GPS - оборудование

- Приемники
- Базовые станции
- Система 1200
- Система SmartSation™

Услуги

- Сервисное обслуживание
- Обучение
- Техподдержка

Наши координаты:

61070, Харьков,
ул. Чкалова, д. 32А
Тел./факс: (057) 719-66-16, (057) 717-44-39

Киевский офис:

02094, Киев,
ул. Попудренка, д. 54, оф. 106
Тел./факс: (044) 494-28-09

Симферопольский офис:

95000, Симферополь,
ул. Зои Жильцовой, 5
Тел./факс: (0652) 601-690



Наш сайт: www.ngc.com.ua

E-mail: ngc@ngc.com.ua

НАЗЕМНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ГНСС ДЛЯ ТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

О.В. Евстафьев (Региональный офис Leica Geosystems)

В 1994 г. окончил факультет прикладной космонавтики МИИГАиК по специальности «космическая геодезия и навигация», в 2002 г. — факультет экономики и маркетинга ТУ (МАИ) по специальности «организация предпринимательской деятельности». С 1994 г. работал ведущим инженером, а с 1999 г. — менеджером отдела продаж в компании ПРИН, с 2001 г. — руководителем отдела геотехнологий ЗАО «Геотехсервис-2000». С 2004 г. по настоящее время — ведущий специалист по спутниковому геодезическому оборудованию в региональном офисе Leica Geosystems.

Основой наземной инфраструктуры систем точного определения пространственных координат (позиционирования) с помощью глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС)¹ являются постоянно работающие базовые станции ГНСС, часто обозначаемые аббревиатурой CORS (Continuous Operation Reference Station). Постоянно действующие базовые станции GPS, ГЛОНАСС или GPS/ГЛОНАСС устанавливаются в виде одиночных станций или нескольких постоянно работающих базовых станций ГНСС, образующих сеть.

На ранней стадии развития глобальных навигационных спутниковых систем первые постоянно работающие базовые станции были установлены вдоль береговой линии (рис. 1) для трансляции поправок дифференциальной коррекции (DGPS), которые позволяли повысить точность морской навигации с помощью спутниковых приемников (до 1 м). В настоящее время базовые станции располагают в различных местах по всему миру, и их количество постоянно растет. Сеть базовых станций обеспечивает единую пространственно-временную геодезическую основу точных и высокоточных ГНСС-

измерений, необходимых для широкого спектра прикладных задач. Например, при наблюдениях за деформациями земной коры, создании опорных геодезических сетей, обеспечении топографических, кадастровых и строительных работ, сбора информации для ГИС-проектов, управлении строительной и сельскохозяйственной техникой, а также для мониторинга за природными и искусственными объектами.

Сеть постоянно действующих базовых станций ГНСС является

более эффективной, чем традиционные сети триангуляционных и полигонометрических пунктов. Базовые станции могут быть установлены в любом месте, где они необходимы, так как в отличие от геодезических пунктов между ними не требуется наличия прямой видимости. Геометрия сети не является столь критичной, как в случае традиционных геодезических сетей, а точность выше и более стабильна. Такая сеть может быть практически любого размера. Одна или две одиночные



Рис. 1
Базовая станция, установленная в порту

¹ Термин ГНСС (англ. GNSS — Global Navigation Satellite Systems) обозначает все глобальные навигационные спутниковые системы, включая GPS, ГЛОНАСС, Galileo и другие.

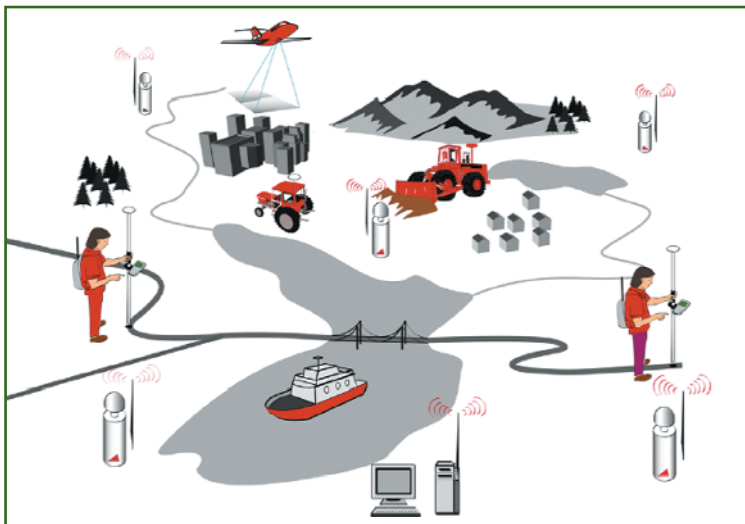


Рис. 2

Области применения базовых станций и сетей ГНСС

базовые станции — возможно, это все, что требуется для обеспечения работ на территории области, города, муниципального образования, строительной площадки, открытых горных выработках и т. д. Сеть, состоящая из большого числа постоянно действующих базовых станций, будет обеспечивать выполнение работ на большей территории, например, на территории целого государства. В этом случае исполнитель может определить координаты своего местоположения с точностью от одного метра до нескольких сантиметров (рис. 2). Для этого ему необходимо установить полевой спутниковый приемник в районе работ, принять дифференциальные поправки с базовой станцией (или с сервера сети), и приемник сразу вычислит координаты текущего местоположения. Такой способ спутниковых измерений называется *режимом измерений в реальном времени* (Real-Time mode). При этом поправки можно получать по радиоканалу, каналам мобильной связи и через Интернет. Кроме того, приемник может записывать спутниковые данные во внутреннюю память, для их последующей обработки совместно с данными базовых станций и вычисления точных координат в

камеральных условиях. Данный режим имеет название *режим измерений с постобработкой* (Post-processing mode).

В регионах, где вероятны землетрясения, вдоль основных линий разломов, в зонах вулканической активности устанавливают сети базовых станций для наблюдений за деформациями земной коры. В этом случае управление сетью базовых станций выполняется сервером с единого вычислительного центра. С помощью специализированного программного обеспечения сервер осуществ-

ляет обработку данных, получаемых с каждой базовой станции сети, и вычисляет координаты антенн базовых станций, которые позволяют определить и проанализировать их смещения и деформации. Подобные сети, но меньшего размера, используются для наблюдений за смещениями природных объектов и сооружений, например: ледников, оползней, плотин (рис. 3), мостов, высотных зданий, башен, морских нефтяных платформ и др.

Данные постоянно действующих базовых станций и сетей из них обеспечивают на больших территориях точное управление механизмами и машинами, оснащенными спутниковыми системами автоматизированного управления. За счет этого на протяженных строительных площадках и открытых горных выработках земляные и планировочные работы могут выполняться быстрее, с более высокой точностью, с использованием меньшего количества специалистов и техники (рис. 2). А во время сельскохозяйственных работ — при посеве зерновых культур, внесении удобрений в почву, сборе урожая, распылении инсектицидов (рис. 2) — достигается не только эффек-



Рис. 3

Наблюдения за деформациями плотин

тивное использование сельскохозяйственной техники, но и повышение урожайности сельскохозяйственных культур.

Широкое использование при управлении территориями и эксплуатации инженерных коммуникаций (водопровод, канализация, теплосети, линии электропередач, линии связи, газовые сети и т. п.) геоинформационных и спутниковых технологий требует постоянного контроля и обновления пространственного положения действующих и строящихся объектов. Наличие базовых станций и сетей из них на территории муниципальных образований и городов обеспечивает получение точных данных о местоположении объектов с помощью спутниковых приемников ГНСС, оснащенных мобильными ГИС.

Приведенные примеры показывают, что базовые станции и сети ГНСС могут использоваться в различных областях. Постоянно действующие базовые станции особенно будут эффективны, когда съемка или мониторинг объектов должны выполняться постоянно на одной и той же территории в течение длительного периода времени. Станции или сети могут быть установлены и сконфигурированы как для решения конкретной задачи и для одной группы пользователей, так и для решения большого числа задач и для множества разнообразных групп пользователей, организаций и ведомств. Одна базовая

станция может идеально работать на небольшой территории. Многоцелевая сеть из нескольких десятков постоянно действующих базовых станций часто бывает более предпочтительна для крупного региона.

Отдельно стоящие станции и сети из них в настоящее время создаются и обслуживаются государственными, акционерными и частными организациями. Финансирование работ по созданию и эксплуатации постоянно работающих станций и сетей осуществляется как из государственного бюджета, так и за счет частного капитала. Но, несмотря на то, что количество одиночных станций и сетей ГНСС постоянно растет, во многих организациях и, особенно, среди потенциальных пользователей данными, предоставляемыми постоянно работающими станциями ГНСС, возникают сомнения в целесообразности практического использования таких услуг.

В данной серии публикации делается попытка дать практические советы по установке одиночной базовой станции или сети базовых станций, а также эффективному управлению ими, чтобы обеспечить необходимый сервис для точных ГНСС-измерений. Поскольку бюджет в большинстве случаев ограничен, а базовые станции и сети из них могут значительно различаться по стоимости, то в каждом конкретном случае акцент должен смещаться в сторону выбора наиболее рентабельного решения.

Постоянно действующая базовая станция (рис. 4) включает в себя приемник ГНСС, спутниковую антенну, источник бесперебойного питания и средства связи, которые устанавливаются стационарно на специально подготовленное место. Управление работой приемника ГНСС обычно осуществляется компьютером, который, как правило, расположен на удалении от приемника. Приемник ГНСС базовой станции работает посто-

янно. «Сырые» данные кодовых или фазовых спутниковых измерений передаются в память компьютера и записываются в файлы определенной длины. В зависимости от типа прикладной задачи длина файла может быть задана любым требуемым значением, от нескольких минут до часов или даже суток. Специализированное программное обеспечение компьютера передает файлы по каналам связи на FTP-сервер для обеспечения пользователям простого к ним доступа через Интернет. Кроме того, программное обеспечение базовой станции может обрабатывать данные приемника ГНСС и выдавать дифференциальные поправки в различных форматах (например, RTCM). Передача поправок пользователям может осуществляться с передатчика базовой станции, расположенного в удобном месте. Пользователи подвижных приемников ГНСС при выполнении полевых измерений могут получать дифференциальные поправки по радиоканалам, высокоскоростным беспроводным сетям (GSM, GPRS, CDMA и др.) или через Интернет. В зависимости от режима измерений и требуемой точности определяемых пространственных координат расстояние пользователя от базовой станции может быть до 300 км. Однако при удалении от станции точность ухудшается пропорционально расстоянию. Для измерений в режиме реального времени с сантиметровой точностью (RTK — Real Time Kinematic) удаление от базовой станции должно быть не более 25–30 км. Большому числу пользователей этого достаточно. Таким образом, им хватит одной базовой станции. В других случаях может потребоваться целая сеть постоянно работающих базовых станций, возможно 5, 10, 20 или даже больше, чтобы обеспечить необходимую точность получения пространственных координат на



Рис. 4
Постоянно действующая базовая станция

больших площадях и территориях.

Сеть постоянно работающих базовых станций состоит из нескольких ГНСС приемников, подключенных к серверу по каналам связи (рис. 5). В качестве каналов связи могут использоваться компьютерные сети, телефонные проводные линии, сотовая связь или глобальная сеть Интернет. Сервер с программным обеспечением для работы с базовыми станциями может управлять одной базовой станцией или сетью базовых станций, включающей несколько сотен приемников ГНСС. Для управления одиночной базовой станцией компьютер часто подключается к приемнику напрямую. В сети с большим количеством базовых станций сервер, как правило, размещается в едином вычислительном центре и коммутируется с приемниками посредством вышеуказанных каналов связи. На сервере установлено специализированное программное обеспечение для управления всеми базовыми станциями сети, при этом для каждого базового приемника отдельный компьютер не требуется. Оно позволяет загружать файлы спутниковых данных приемников в память сервера через регулярные промежутки времени. Если необходимо, «сырые» данные также могут передаваться от приемника на сервер постоянно, секунда за секундой. Программное обеспечение сервера конвертирует данные в различные форматы, например RINEX², и сохраняет их в виде файлов. Файлы передаются на FTP-сервер для доступа к ним через Интернет. Файлы могут архивироваться для хранения. Однажды установленные и сконфигурированные базовые станции и сети из них будут функционировать в полностью автоматическом режиме. Однако инспектор системы может входить в нее, прово-

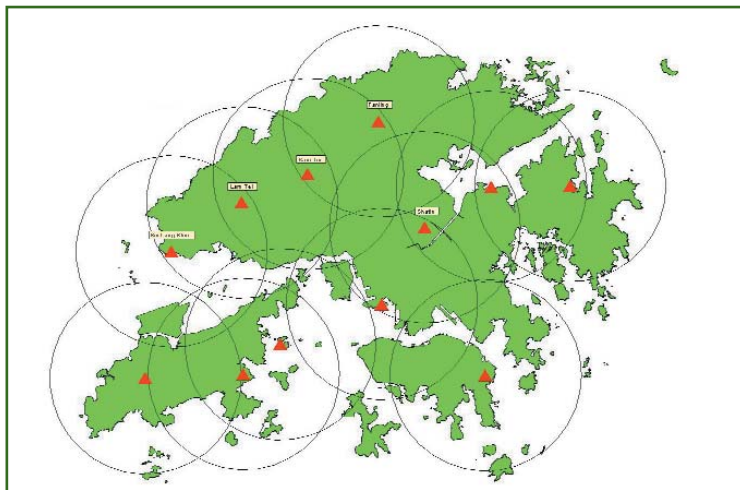


Рис. 5
Сеть постоянно работающих базовых станций

дить осмотр приемников и сети, а также выполнять настройки и вносить изменения. Система также может выдавать данные (дифференциальные поправки), необходимые для выполнения измерений в режиме реального времени.

Базовые станции и сети базовых станций могут значительно отличаться по площади охвата и сложности решения. Главным отличием сети базовых станций от одиночной базовой станции является наличие каналов связи для передачи данных с удаленных приемников ГНСС базовых станций на сервер единого вычислительного центра. Также, это наличие инфраструктуры, обеспечивающей поддержание работы базовых станций, включая электропитание, постоянный контроль состояния приемников ГНСС и безопасность.

Организации, планирующие установку постоянно работающих базовых станций или создание сети базовых станций, должны тщательно обдумать, для каких целей будут использоваться данные базовых станций, и какие услуги предполагается предоставлять потенциальным пользователям. От этого будет зависеть уровень сложности решения и стоимость проекта.

Таким образом, если принято решение об установке постоянно работающей базовой станции для обеспечения собственных производственных задач или создания сервиса для точного определения пространственных координат на основе сети базовых станций, то для начала необходимо найти ответы на ряд вопросов, которые будут рассмотрены в последующих публикациях. Это во многом определит успех реализации проекта, направление основных усилий и порядок мероприятий, а также уровень возможных финансовых и временных затрат.

Продолжение следует

RESUME

The article considers the both role and significance of the sustained Global Navigation Satellite System's (GNSS) stations. They serve the base of the GNSS onground infrastructure for precise determining spatial coordinates. It is noted that the basic stations can be placed as both separate single stations and networks. The latter can be used for solving a wide range of applied tasks from geodetic measurements and up to precision agriculture. There described equipment of such a single basic station and a network of these basic stations.

² RINEX (Receiver INdependent EXchange format) — независимый обменный формат данных приемников.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ КАМЕРЫ 3-DAS-1

А.Н. Тетеря (ООО «Аналитика», Винница, Украина)

В 1984 г. окончил Киевский топографический техникум. После окончания техникума работал в ОКЭ № 241 (Винница). В 1991 г. заочно окончил факультет городского строительства Киевского инженерно-строительного института по специальности «прикладная геодезия». После окончания института работал начальником фотограмметрического отдела в ГП «Подольгеодезкартография» (ранее ОКЭ № 241). С 2001 г. работает в ООО «Аналитика», в настоящее время — заместитель директора по цифровой картографии.

Производственное предприятие ООО «Аналитика» около десяти лет занимается выполнением фотограмметрических работ с использованием цифровых фотограмметрических станций «Дельта» (ЦФС ЦНИИГАиК). На начальном этапе это были работы, связанные со стереоскопическим картографированием, по заказу различных европейских компаний. Заказчик предоставлял отсканированные аэрофотоснимки с готовыми элементами внешнего ориентирования, полученными в результате уравнивания. Конечной продукцией являлась трехмерная векторная карта (цифровая модель местности) в заданном формате, собранная послойно, в соответствии с правилами и требованиями заказчика.

По мере возникновения потребностей в подобных услугах на территории Украины предприятие начало выполнять все больше местных заказов, являясь генподрядчиком комплекса работ, включающего аэрофотосъемку, планово-высотную привязку, измерения фототриангуляции и уравнивание, создание цифровых карт и мозаичных ортофотопланов. Фотограмметрический отдел предприятия, оснащенный фотограмметрическим сканером и необходимым количеством ЦФС, насчитывает около сорока квалифицированных операторов. Это позволяет оперативно выполнять доволь-

но масштабные проекты.

Однако аэросъемочные работы приходилось заказывать в других организациях, что порой приводило к срыву сроков, а также к дополнительным, слабо прогнозируемым затратам из-за большой загрузки аэросъемочных компаний. Проблема еще более обострилась по мере роста спроса на цветную аэрофотосъемочную продукцию, поскольку в Украине число компаний, оснащенных современными пленочными камерами и проявочными машинами, довольно ограничено.

Именно поэтому, наше предприятие с объяснимым интере-

сом следило за созданием цифровой фотограмметрической камеры сканирующего типа 3-DAS-1. Разработку этой камеры с 2002 г. вели НПП «Геосистема» (Украина) и компания Wehrli and Associates (США), а с 2005 г. началось ее серийное производство научно-производственным предприятием «Геосистема». В таблице приведены технические характеристики цифровой фотограмметрической камеры 3-DAS-1, а ее общий вид с управляющим компьютером представлен на рис. 1.

▼ Решение о покупке

Заявленная производителем цена камеры в 250 тыс. дол. с

Основные технические параметры цифровой фотограмметрической камеры 3-DAS-1

Наименование параметров	Значения
Высота полета, м	550–4400
Ширина полосы захвата, м	360–2880
Разрешение на местности, см	4,5–36
Число каналов	3
Радиометрическое разрешение, бит	42
Угол между надирным и другими каналами, °	16/26
Фокусное расстояние объективов, мм	110
Поле зрения (поперек направления полета), °	36
Частота сканирования, Гц	250–750
Рабочий диапазон температур, °C	от +5 до +45
Число активных пикселей ПЗС(СDD)-датчика	8000xRGB
Размер пикселя, микрон	9
Требования к источнику питания, В/А	28/20
Вес камеры, кг	32
Вес камеры с платформой и компьютером, кг	150



Рис. 1

Цифровая камера 3-DAS-1 с управляющим компьютером

возможностью поэтапной оплаты давала реальный шанс на создание собственного аэросъемочного подразделения. Кроме того, у предприятия к тому времени уже сложились достаточно конструктивные производственные отношения с одной из авиакомпаний в Виннице, имеющей несколько самолетов Ан-2, оборудованных люками. Преимущества приобретения цифровой камеры были очевидны. Предприятие получало возможность самостоятельно выполнять цветную цифровую аэрофотосъемку, которая обеспечивала качество изображений на порядок превосходящее результаты, получаемые при сканировании цветных фотоматериалов. Были, однако, и сомнения, на которых хочется остановиться подробнее.

Первое, на что было обращено внимание, это меньшая, по сравнению с пленочной камерой, ширина захвата. Угловое поле зрения камеры 3-DAS-1 составляет 36° , а у пленочной камеры RC30 (Leica Geosystems) — 64° . Это могло вызвать значи-

тельное увеличение полетного времени за счет удвоения числа маршрутов. Однако более детальный расчет показал, что реальная разница не столь существенна.

Например, планируется аэросъемка, по результатам которой необходимо получить разрешение на местности 0,1 м. В этом случае для пленочной камеры RC30, имеющей рабочую зону снимка 220 мм, отсканированного с типовым разрешением 16 мкм, получим 13 750 пикселей или 1375 м на местности. С учетом 40% межмаршрутного перекрытия рабочая зона захвата для RC30 составит 825 м. Для цифровой камеры 3-DAS-1, имеющей число активных пикселей 8000, ширина на местности составит 800 м, а рабочий захват с учетом 20% межмаршрутного перекрытия — 640 м. Таким образом, число маршрутов при съемке цифровой камерой 3-DAS-1 оказывается лишь на 30% больше, чем для пленочной камеры RC30. Поскольку предполагалось использовать относительно экономичный Ан-2, то этот показатель был признан вполне приемлемым.

Применение при съемке 3-DAS-1 вдвое меньшего межмаршрутного перекрытия вполне оправдано по следующим причинам:

- меньшее угловое поле зрения камеры значительно снижает «завалы» зданий на краях снимка;
- отсутствует процесс фототриангуляции в ее традиционном понимании;
- тройное стереоскопическое перекрытие вдоль маршрута облегчает дешифрирование.

Итоги полутора лет съемок цифровой камерой 3-DAS-1 подтвердили наше решение. Межмаршрутное перекрытие больше чем 20% использовалось крайне редко, только при съемке некоторых районов крымского побережья с перепа-

дами высот до 600 м. Стандартно применялось поперечное перекрытие, равное 15%, а при наличии высотной застройки или выраженного рельефа — 20%.

Вторым серьезным сомнением был вопрос о целесообразности приобретения дорогостоящего интегрального навигационного комплекса (GPS/IMU) POS AV 510 компании Applanix (Канада). Как известно, камера 3-DAS-1 является цифровой камерой сканирующего типа и обязательно требует наличия интегрального навигационного комплекса для измерения траектории движения и угловых элементов ориентирования в процессе полета. Причем высокая стоимость этого комплекса, которая превышает 200 тыс. дол., была не единственной темой для размышлений.

Имея многолетний опыт работы в традиционной фотограмметрии, специалисты предприятия привыкли полагаться исключительно на точность опорных точек и качество измерений фототриангуляции. Эти факторы целиком находились в нашей компетенции и всегда подвергались перекрестному контролю. Поэтому, мысль о том, что отныне точность сдаваемой заказчику продукции будет зависеть от «черного ящика» — GPS/IMU-комплекса, не вызвала особого энтузиазма. А заверения разработчиков цифровой камеры в том, что аэросъемку можно будет выполнять вообще без планово-высотного обоснования, казались слишком самонадеянными. И хотя нам было известно, что подобный подход давно апробирован и уже много лет используется в воздушном лазерном сканировании, мы все равно не могли удержаться от определенного скепсиса.

В настоящее время, «налетав» за прошлый год более 250 часов, выполняя аэросъемку в масштабах от 1:8000 до

1:25 000, можно с уверенностью утверждать, что интегральный навигационный комплекс действительно обеспечивает необходимую точность. Ни один из нескольких десятков выполненных объектов не был забракован и не потребовал повторного залета по вине комплекса POS AV 510. Причем в 70–80% случаев среднеквадратические отклонения координат в плане были получены меньше одного пикселя, а опорные точки использовались только для контроля. Правда, в отдельных случаях (обычно, когда базовая станция GPS была удалена на расстояние более 60 км) погрешность определения плановых координат достигала двух пикселей. Однако большая часть этой погрешности носила систематический характер и легко устранялась при помощи процедуры микротриангуляции — вводя поправки в положение каждого маршрута по измерениям опорных точек.

Также следует отметить, что практический контроль получаемых из POS AV 510 угловых элементов ориентирования осуществляется автоматически каждый раз, когда выполняется процедура ректификации снятых «сырых» изображений. Вследствие того, что цветовые RGB-каналы на датчике камеры разнесены примерно на 0,1 мм в направлении полета, то одна и та же точка местности снимается каждым цветовым каналом не одновременно, а с интервалом примерно 1/50 секунды. И поскольку камера в каждый момент времени имеет другие элементы внешнего ориентирования (измеряемые GPS/IMU-комплексом с частотой 200 раз в секунду), то каждый из трех цветовых каналов проходит собственную процедуру ректификации, независимо от двух других. Таким образом, отсутствие на ректифицированном цветном изображении видимых несовпа-

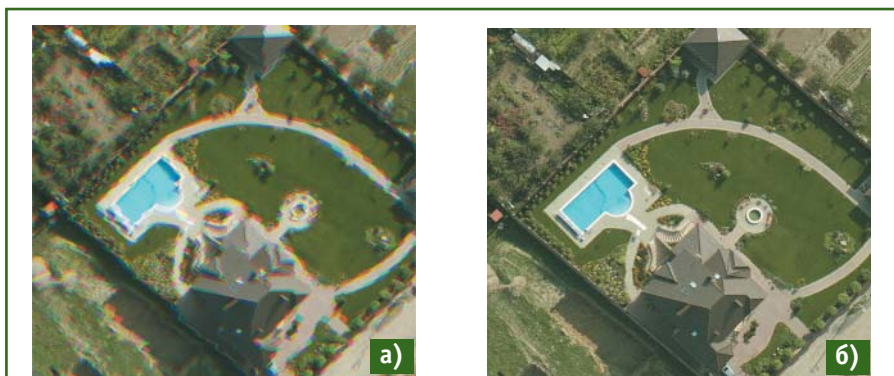


Рис. 2

Пример получения ректифицированного цветного изображения местности:
 а) исходное «сырое» изображение;
 б) ректифицированное изображение

дений цветов и соблюдение прямолинейности контуров возможно только при правильном измерении и учете истинных элементов внешнего ориентирования в каждый момент съемки (рис. 2).

Третье, последнее сомнение, касалось технологии обработки материалов аэросъемки, получаемых с помощью цифровой камеры 3-DAS-1. Поскольку практически все наши специалисты имели опыт работы на фотограмметрических станциях ЦФС «Дельта», которые также как и 3-DAS-1 были разработаны НПП «Геосистема», а разработчик гарантировал полную совместимость обоих программных комплексов в единую технологическую цепочку, то проблема не стояла особенно остро. Тем не менее, было понятно, что потребуется время на «переучивание» операторов для освоения несколько видоизмененной схемы обработки по сравнению с традиционной.

Нельзя сказать, что освоение прошло совершенно гладко, но непреодолимых проблем не возникло. Процесс стереосоставления для оператора-фотограмметриста действительно ничем не отличается от работы со снимками традиционной камеры центральной проекции. Двухчасового тренинга для операторов оказалось достаточно,

чтобы усвоить нюансы использования цифровых изображений 3-DAS-1. Возможность выбора угла конвергенции стереоизображения 16°, 26° или 42°, за счет использования стереопар из разных комбинаций изображений (передний, задний и надирный), существенно облегчало дешифрирование.

Создание ортофотопланов также значительно упростилось, поскольку для формирования мозаики (рис. 3) достаточно было провести линии порезов лишь для одного-двух десятков непрерывных маршрутов, а не для сотен отдельных снимков.

Больше усилий пришлось затратить бригаде фототриангуляции, которая освоила новые процессы, такие как уравнивание GPS/IMU-измерений в программном обеспечении Applanix PosPac и ректификация полученных камерой изображений. На них также возложен контроль точности по опорным точкам и создание датумов (базовых параметров) для перехода из WGS-84 в систему координат заказчика, обычно в СК-63. Предложенная разработчиками схема работы в «родной» для GPS/IMU-комплекса системе координат WGS-84 и пересчет в СК-63 лишь на конечном этапе, перед сдачей заказчику, нас не устроила. В результате совместных усилий программное обес-

печение Delta/Digitals было доработано, давая возможность открывать однажды ректифицированные снимки в любой системе координат, выбирая соответствующий датум пересчета.

▼ Практические результаты

Наше предприятие приобрело цифровую камеру 3-DAS-1 вместе с POS AV 510 в начале осени 2006 г. В комплект поставки также входила стабилизирующая платформа и управляющий компьютер в промышленном исполнении, с двумя съемными RAID-массивами, объем каждого из которых составлял 1,8 Тбайт. Источником питания для комплекса служит бортовая сеть самолета, напряжением 28 В. В зависимости от режима работы потребление тока составляет примерно 15–18 А. Установка аэросъемочного оборудования в самолет занимает 30–40 минут, включая тестирование работоспособности всех компонентов, выполняемое до взлета. В поле-

те комплексом управляет один оператор.

Наземное обеспечение работы POS AV 510 включает одну или две базовые станции, в качестве которых использовались двухчастотные спутниковые приемники GPS Trimble 5700. Приемники устанавливаются на пунктах с известными координатами, максимально приближенными к снимаемому объекту.

Планирование залета выполняется в программном обеспечении Delta/Digitals, используя отсканированные карты масштаба 1:100 000 или космические снимки Google Earth. Схема залета площадных объектов, включающая трехмерные траектории всех маршрутов, создается в автоматическом режиме, линейных объектов — в полуавтоматическом режиме. Готовая схема передается на компьютер цифровой камеры, где система управления полетом, связанная с приемником GPS из комплекта POS AV 510, автома-

тически включает/отключает камеру, а также постоянно выводит на экран в кабине пилота информацию об отклонении от траектории. Система позволяет летчику при нормальных погодных условиях выдерживать траекторию маршрута с отклонением не более 15 м в плане и по высоте.

Выбранный нами формат записи (42 бита со сжатием без потерь) позволил записать около 9 часов съемки на один съемный RAID-массив. Всего в работе используется четыре сменных массива. После выполнения съемки данные переписываются на офисный накопитель, объемом около 7 Тбайт, и выполняется их ректификация и последующая обработка.

Проекты, выполненные нашим предприятием при помощи цифровой камеры 3-DAS-1, можно условно разделить на несколько основных категорий:

— аэросъемка городских населенных пунктов для целей ин-

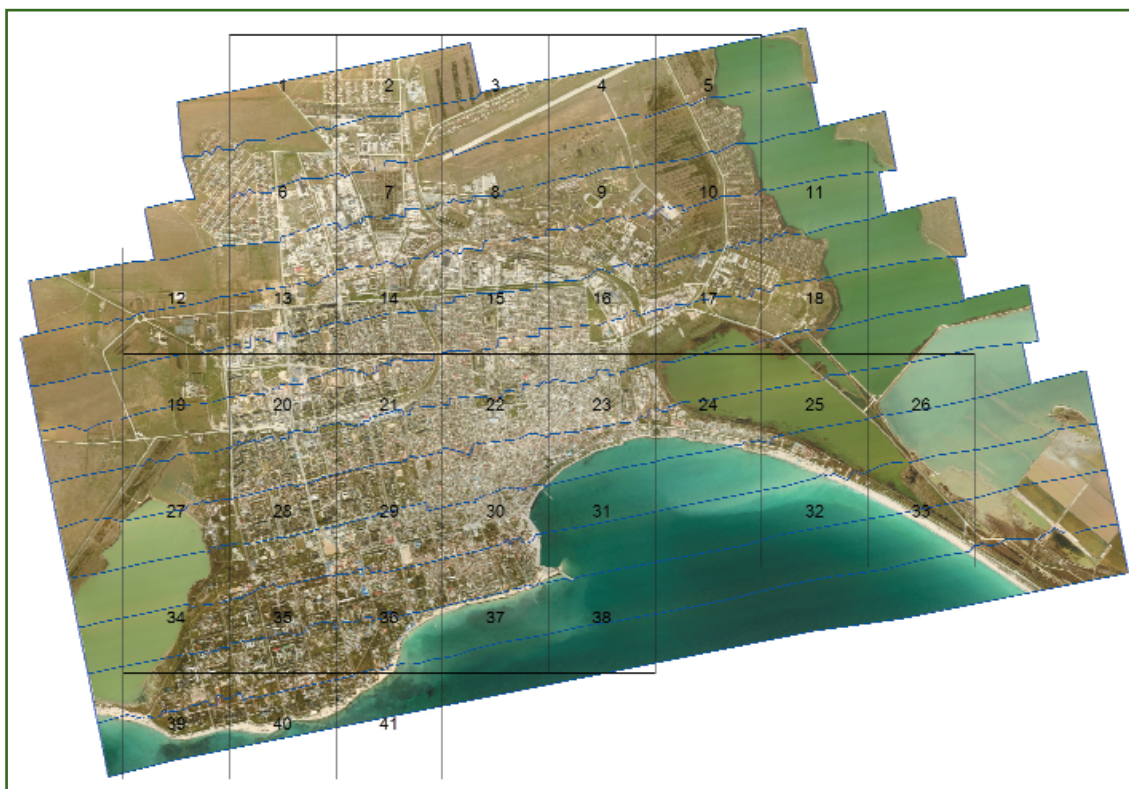


Рис. 3

Пример создания ортофотомозаики

вентаризации (масштаб съемки 1:8000–1:12 000, разрешение на местности 0,07–0,10 м, допуск точности 0,2 м);

— аэросъемка сельских населенных пунктов для целей инвентаризации (масштаб съемки 1:14 000–1:16 000, разрешение на местности 0,12–0,15 м, допуск точности 0,4 м);

— линейная съемка железных дорог и бассейнов рек;

— площадная съемка лесных массивов для целей таксации и инвентаризации (масштаб съемки 1:25 000, разрешение на местности 0,23 м, допуск точности 1,0 м).

На многих объектах заказчики выполняли независимый выборочный контроль точности. Измерения координат четких контуров проводились с помощью спутниковых приемников GPS. Выявленные по результатам контроля точности отклонения находились в пределах

0,15 см для масштабов аэросъемки 1:10 000–1:12 000.

В 2007 г. была выполнена аэросъемка более 60 населенных пунктов, 565 км линейных объектов и 12 тыс. км² лесных массивов Житомирской области, с суммарным налетом более 250 часов. Эксплуатация происходила в достаточно жестких условиях, поскольку для Ан-2 характерны высокий уровень вибраций и отсутствие герметизации. Аэросъемочный комплекс, включающий цифровую сканирующую аэрофотокамеру 3-DAS-1, управляющий компьютер, интегральный навигационный комплекс POS AV 510 и стабилизирующую платформу, показал себя достаточно надежным в эксплуатации. За все время аэросъемки произошел только один отказ в работе стабилизирующей платформы, который был устранен производителем, а также вышел из строя жесткий

диск в одном из сменных дисковых массивов, что не привело к потере информации, поскольку запись данных осуществляется с избыточностью, по стандарту RAID3.

С галереей цифровых изображений, полученных нашим предприятием, можно ознакомиться в Интернет по адресу www.geosystema.net/gallery/analytica.

RESUME

There given an experience of using the digital scanning aerophotocamera 3-DAS-1, serially produced by the Geosystem SPE, Ukraine since 2005 in cooperation with the integral navigation complex (GPS/IMU) POS AV 510 by the Applanix Company, Canada. High quality of the digital aerial surveying data is marked for the aerial imaging scales of 1:8,000 to 1:25,000 together with the measuring complex reliability.

Цифровая камера «3-DAS-1»
Сканирующая система для аэрофотосъемки
www.vingeo.com

Сканирующий модуль
3 RGB-канала 8000 x 9 микрон x 42 bit
фокусное расстояние 110 мм

Система управления полетом
Планшетный компьютер в кабине пилота для контроля положения, курса и отклонения от маршрута

Управляющий компьютер
2xOpteron64/PCI-X/RAM 4Gb
RAID-3 2.0Tb/UltraSCSI-320/Touchscreen

Стабилизирующая платформа
Компенсирует углы наклона и разворота самолета постоянно удерживая камеру в горизонтальном положении с отклонением менее 0.2°

Инерциальная GPS (Applanix POS AV)
В процессе полета с частотой 200 Гц определяет элементы внешнего ориентирования камеры (геодезические координаты и углы наклона)

ПОСТРОЕНИЕ ЦМР ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ALOS PALSAR

Ю.Б. Баранов (ВНИИГАЗ)

В 1978 г. окончил Московский геологоразведочный институт (Российский государственный геологоразведочный университет — РГГРУ). В настоящее время — доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геоинформатики РГГРУ и начальник лаборатории космической информации для целей газовой промышленности ООО «ВНИИГАЗ».

Ю.И. Кантемиров (ВНИИГАЗ)

В 2004 г. окончил РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина по специальности «разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений». После окончания университета работает в ООО «ВНИИГАЗ», в настоящее время — младший научный сотрудник лаборатории космической информации для целей газовой промышленности.

Е.В. Киселевский («Газпром»)

В 1976 г. окончил Московский горный институт по специальности «маркшейдерское дело». В настоящее время — начальник отдела маркшейдерско-геодезического и информационного обеспечения недропользования ОАО «Газпром».

М.А. Болсуновский («Совзонд»)

В 1990 г. окончил Киевское высшее инженерное радиотехническое училище. После окончания училища служил в рядах ВС РФ. С 2000 г. работал в ООО «Гео Спектрум», а с 2002 г. — в ФГУП ВО «Техмашимпорт». В 2004 г. получил степень «Мастер делового администрирования в области стратегического планирования» (Master of Business Administration) во Всероссийской академии внешней торговли Минэкономразвития РФ. С 2004 г. работает в компании «Совзонд», в настоящее время — заместитель генерального директора.

Задача получения цифровых моделей рельефа (ЦМР) на территории объектов добычи, транспорта и хранения нефти и газа в настоящее время является одной из наиболее актуальных для ОАО «Газпром» в части картографического обеспечения производственной деятельности. Это объясняется многими причинами. Готовятся к разработке новые месторождения, вводятся в эксплуатацию более глубокие продуктивные горизонты уже разрабатываемых месторождений, проектируются новые объекты наземного обустройства месторождений и нефтегазотранспортной инфраструк-

туры. Для ряда месторождений выполняется мониторинг смещений земной поверхности, вызванных подработкой залежей углеводородов, интерферометрическим методом, для чего также необходим высокоточный опорный рельеф. Наконец, цифровые модели рельефа используются в научных исследованиях, для моделирования геодинамических напряжений, анализа линеаментов, структурного и геоморфологического дешифрирования и т. д.

Как известно, существует несколько методов получения ЦМР. Можно отметить широко применяемую спутниковую и авиаци-

онную стереосъемку (как оптическую, так и радиолокационную), а также воздушное лазерное сканирование, характеризующееся, с одной стороны, максимально высокой точностью, а с другой — достаточно высокой стоимостью. Кроме того, существует метод получения ЦМР по одиночным космическим изображениям или аэрофотоснимкам. Применяется оцифровка существующих топографических карт с последующим получением ЦМР в соответствующем программном обеспечении.

В данной статье авторы предлагают подробнее рассмотреть технологию получения ЦМР на

основе метода радиолокационной интерферометрии. Очевидными преимуществами получения модели современного рельефа на основе радиолокационных данных являются:

- всепогодность радиолокационной съемки (нет зависимости от облачности и времени суток в отличие от оптической стереосъемки);

- относительно низкая стоимость и широкая полоса захвата по сравнению с аэросъемкой и воздушным лазерным сканированием;

- минимальные трудозатраты при обработке данных космической съемки по сравнению со стереоскопической обработкой (процесс получения рельефа в программном модуле SARscape ПК ENVI практически полностью автоматизирован);

- в случае использования данных радиолокатора PALSAR с космического аппарата (КА) ALOS с гарантированной субпиксельной точностью геопозиционирования возможно построение ЦМР без наземных контрольных точек, либо с их минимальным количеством;

- высокая точность и детальность получаемых результатов (в частности, по экспертной оценке авторов, для данных ALOS PALSAR результирующий рельеф близок рельефу топографической карты масштаба 1:25 000 при размере одной сцены порядка 70х70 км).

Кроме перечисленных преимуществ, отработка технологии получения ЦМР интерферометрическим методом представляет интерес в связи с планиру-

емым запуском группировки космических аппаратов ДЗЗ ОАО «Газком», среди которых будут КА с радиолокаторами.

В головном научно-исследовательском институте ОАО «Газпром» — ООО «ВНИИГАЗ» — проводится полномасштабный анализ потенциала радиолокационных данных для решения различных задач нефтегазовой отрасли (мониторинг смещений земной поверхности, получение ЦМР, обнаружение нефтяных пятен в акваториях, дешифрирование геологических структур и т. д.).

В настоящее время авторами выполняется мониторинг смещений земной поверхности на Заполярном газоконденсатно-нефтяном месторождении дифференциальным интерферометрическим методом по радиолокационным данным. Для такого мониторинга необходима многопроходная цепочка радиолокационных космических снимков и опорный входной рельеф. Для получения опорного рельефа был также выбран интерферометрический метод (но по другим исходным космическим снимкам), исходя из следующих соображений.

Чем выше точность опорного рельефа по высоте, тем увереннее определяются смещения и отфильтровываются фазовые помехи. Для максимально корректного разделения фазы опорного рельефа и фазы смещений земной поверхности необходима цифровая модель местности (ЦММ), по состоянию наиболее близкая по времени данным, используемым для ин-

терферометрической обработки, поскольку в таком случае выделение высотной составляющей фазы будет более точным. В связи с этим ЦМР, построенная по результатам оцифровки топографических карт, не была бы с лучшим решением. С другой стороны, район Заполярного месторождения расположен севернее 60° северной широты, и, следовательно, ЦММ, полученная по результатам радарной топографической съемки SRTM (Shuttle radar topographic mission), для этого района недоступна (и, в целом, ее пространственное разрешение, равное 90 м, недостаточно при использовании в качестве опорного рельефа для отслеживания смещений). ЦМР GTOPO-30 (пространственное разрешение 1 км) также совершенно не подходит для решения поставленной задачи.

Таким образом, получение опорного рельефа высокого пространственного разрешения интерферометрическим методом для данной ситуации было безальтернативным. Следующей проблемой стал выбор исходных данных.

▼ Выбор исходных данных

Космические аппараты, находящиеся в настоящее время на орбите, ведут радиолокационную съемку земной поверхности в различных диапазонах радиоволновой области электромагнитного спектра (см. таблицу). Наиболее доступными являются архивные радиолокационные изображения с этих КА.

На основе накопленного опыта интерферометрической

Диапазоны радиоволновой области электромагнитного спектра радиолокационных комплексов КА

Диапазон	Частота, ГГц	Длина волны, см	Космические аппараты с радиолокационными комплексами
X	5,20–10,90	2,75–5,77 (2,4–3,8)	USGS SLAR, TerraSAR-X, Cosmo-SkyMed
C	3,9–6,2	3,8–7,6	ERS-1,2, ENVISAT-ASAR, RADARSAT-1, RADARSAT-2
L	0,39–1,55	19,3–76,9 (15–30)	SIR-A, SIR-B, ALOS
P	0,225–0,391	40,0–76,9 (30–100)	AIRSAR

обработки значительных объемов архивных радиолокационных космических снимков, авторами сделан вывод о наличии двух вариантов набора исходных данных при построении рельефа интерферометрическим методом для условий большей части территории Российской Федерации.

Первый вариант — использование результатов тандемной съемки с небольшой временной базой (например, архив снимков, сделанных спутниками ERS-1 и ERS-2). Положительными факторами являются следующие: идеальная интерферограмма в большинстве случаев; высокая когерентность; пространственное разрешение 20–25 м, что приблизительно в 4 раза выше, чем у ЦМР SRTM. Минусами этого варианта являются: неполное покрытие территории РФ радиолокационными изображениями; отсутствие свежих архивных данных (в том случае, если необходима современная ЦМР); резкое падение когерентности в районе лесных массивов, характерное в целом для С-диапазона радиоволновой области электромагнитного спектра.

Второй вариант — использование результатов радиолокационной съемки со спутника ALOS (бортовым радиолокатором с синтезированной апертурой PALSAR). Основным плюсом использования этих данных для получения информации о рельефе земной поверхности представляется длина зондирующей волны этого радиолокатора — 23 см, соответствующая L-диапазону. Соответственно, в большинстве случаев снимается проблема временной декорреляции интерферометрических пар радиолокационных снимков, вызванной влиянием растительности. В связи с этим интерферометрические пары изображений ALOS PALSAR характеризуются высокой когерентностью, даже несмотря на то, что

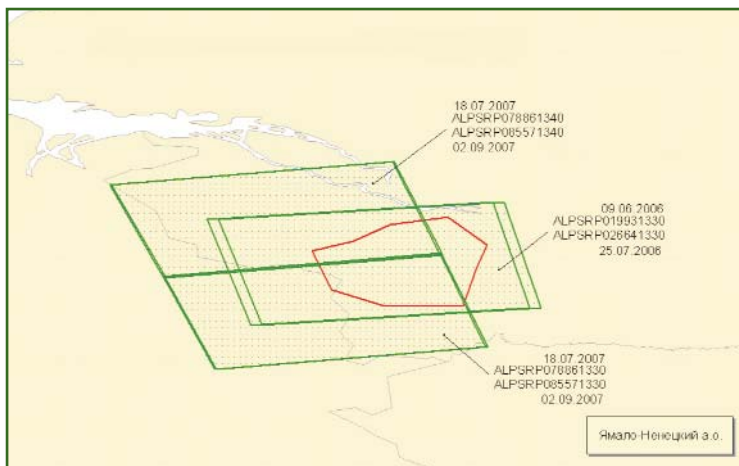


Рис. 1

Схема покрытия района Заполярного месторождения радиолокационными данными ALOS PALSAR

минимально возможный временной интервал между ними составляет 46 дней. При этом режим съемки PLR (полная поляризация излучения) позволяет дополнительно повысить когерентность и оптимизировать интерферограмму за счет съемки с полной поляризационной матрицей. В свою очередь, данные ALOS PALSAR FBS (однополяризационный режим съемки) характеризуются высоким пространственным разрешением — 7 м, что в 3–4 раза превышает разрешение данных тандемной съемки с ERS-1 и ERS-2.

В связи с отсутствием в настоящее время на орбите тандемов КА с радиолокационными комплексами, современная ЦМР не может быть получена с помощью первого рассматриваемого варианта. Таким образом, авторами был выбран второй вариант, а именно: получение рельефа с помощью интерферометрической обработки пары изображений ALOS PALSAR.

▼ Поиск архивных радиолокационных данных ALOS PALSAR

Подбор архивных данных с учетом характеристик, необходимых для обеспечения результатов работ, был выполнен официальным российским дистрибьютором данных с КА ALOS —

компанией «Совзонд». На исследуемый участок земной поверхности — район месторождения Заполярное (многоугольник красного цвета на рис. 1) — было найдено несколько комплектов радиолокационных данных, подходящих для интерферометрической обработки. Два перекрывающихся прохода от 18.07.2007 г. и от 02.09.2007 г. были сделаны в режиме FBD (двойная поляризация), а два перекрывающихся прохода от 09.06.2006 г. и от 25.07.2006 г. — в режиме FBS (одинарная поляризация).

Отметим, что радиолокационные данные, полученные в режиме FBD, покрывают район месторождения на 80% двумя интерферометрическими парами изображений, в то время как одна пара изображений в режиме FBS полностью покрывает район месторождения и, кроме того, характеризуется более высоким пространственным разрешением (7 м). Радиолокационные данные ALOS PALSAR PLR (полная поляризационная матрица) также присутствуют в архиве на рассматриваемый участок, но они отсняты в весенний период (по опыту авторов не самый благоприятный для этой территории).

В итоге для построения рельефа была выбрана интерферо-

метрическая пара изображений от 09.06.2006 г. и 25.07.2006 г., сделанных в режиме FBS (одинарная поляризация HH).

► Получение рельефа интерферометрическим методом

Коротко остановимся на теоретических основах получения рельефа интерферометрическим методом. Входными данными для построения рельефа этим методом является пара (или цепочка) радиолокационных снимков земной поверхности, которая образует интерферометрическую пару. Ограничением для получения интерферометрической пары, а следовательно, возможности интерферометрической обработки пары (или цепочки) радиолокационных снимков, являются пространственная и временная базы.

Пространственная база (или базовая линия B на рис. 2) представляет собой расстояние между орбитальными положениями радиолокатора 1 и радиолокатора 2 при получении изображений, образующих интерферометрическую пару. Качество результатов интерферометрической обработки (т. е., в данном случае, качество результирующей цифровой модели рельефа) напрямую зависит от величины базовой линии и, в общем случае, возрастает с ее увеличением. Но при превышении некоторого критического значения длины пространственной базы интерферометрическая обработка становится невозможной, вследствие пространственной декорреляции.

Временной базой называют промежуток времени, прошедший между временем получения изображений радиолокаторами 1 и 2 (рис. 2). Понятие временной базы напрямую связано с такой важной проблемой как временная декорреляция, возникающей за счет изменений рельефа, растительности, влажности и т. д., произошедших в

период между съемками первым и вторым радиолокаторами. В общем случае, эффект временной декорреляции становится менее заметен с увеличением длины зондирующей радиолокационной волны.

Каждое радиолокационное изображение интерферометрической пары (или цепочки) содержит амплитудный и фазовый слой. Амплитудный слой более пригоден для визуального анализа. Результирующая фаза Φ , полученная в ходе интерферометрической обработки фазовых слоев изображений интерферометрической пары, состоит из следующих компонентов:

$\Phi = \Phi_{\text{topo}} + \Phi_{\text{def}} + \Phi_{\text{atm}} + \Phi_n$, где Φ_{topo} — фазовый набег за счет обзора топографии под двумя разными углами;

Φ_{def} — фазовый набег за счет смещения поверхности в период между съемками;

Φ_{atm} — фазовый набег за счет различия длин оптических путей из-за преломления в среде распространения сигнала;

Φ_n — вариации фазы в результате электромагнитного шума.

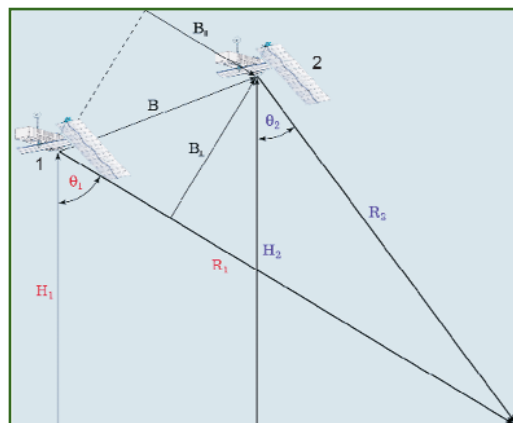
Непосредственно интерферометрическая обработка пары радиолокационных изображений с целью получения ЦМР в общем случае состоит из нескольких базовых шагов:

1. Совмещение основного и вспомогательного радиолокационных изображений интерферометрической пары (в автоматическом режиме либо с ручным вводом контрольных точек).

2. Генерация интерферограммы, являющейся результатом комплексного поэлементного перемножения основного изображения и изображения, комплексно сопряженного к вспомогательному.

3. Разделение компонентов фазы Φ_{topo} и Φ_{def} за счет синтеза фазы рельефа.

4. Фильтрация интерферограммы, позволяющая в определенной степени уменьшить фа-



H_1 и H_2 — высота радиолокатора;
 R_1 и R_2 — дальность (путь зондирующей волны);
 θ_1 и θ_2 — углы между дальностью и высотой;
 B_1 и B_2 — перпендикулярная и параллельная составляющие базовой линии B

Рис. 2

Пространственное положение радиолокаторов, изображения с которых образуют интерферометрическую пару

зовый шум (помехи) за счет загромождения выходной ЦМР.

5. Получение файла когерентности для области перекрытия двух снимков, составляющих интерферометрическую пару, в значениях от 0 до 1 для каждой пары соответствующих друг другу пикселей.

6. Развертка фазы (процедура перехода от относительных значений фазы к абсолютным).

7. Коррекция базовой линии.

8. Преобразование абсолютных значений фазы в относительные либо абсолютные высотные отметки в метрах, с получением на выходе ЦМР.

Окончание следует

RESUME

A process is considered for building DEM on a scale of 1:25,000 using the interferometric technique for the ALOS PALSAR radar images with the SARscape software package. The initial data choice is grounded, intermediate results are described, the level of detail, as well as the heightening accuracy of the DEM creation are estimated. Certain theoretical aspects together with the application features of the ALOS PALSAR interferometric data processing are considered.

КОМПАНИИ

▼ Новая компания «ГНСС плюс»

Название компании «ГНСС плюс», созданной осенью 2007 г., выбрано не случайно. Сокращение «ГНСС» (глобальные навигационные спутниковые системы) все активнее используется участниками мирового рынка как универсальный термин, объединяющий существующие и планируемые к запуску системы спутникового позиционирования — ГЛОНАСС (Россия), GPS (США), Galileo (Евросоюз), Compass (Китай) и др. А дополнение «плюс» отражает идею, что в большинстве случаев пользователям необходимо объединить оборудование спутникового позиционирования с дополнительными устройствами, такими как защищенные полевые контроллеры, УКВ или

GSM/GPRS-модемы, блоки инерциальных измерений и т. п.

Хорошо зная потребности пользователей систем высокоточного определения пространственных координат, наша компания планирует в ближайшее время занять ведущие позиции именно в этом сегменте, предложив партнерам разработку и поставку законченных решений, общие консультации и техническую поддержку по спутниковому оборудованию и дополнительным технологиям. Поэтому компания «ГНСС плюс» является официальным дилером на территории России ряда признанных мировых лидеров данной отрасли, таких как NovAtel, Inc. (Канада), HandHeld Europe AB (Швеция), OmniStar BV (Нидерланды).

Коллектив сотрудников подбирался достаточно тщательно. В компании есть не только ин-



женеры с пятнадцатилетним техническим опытом работы в области высокоточного позиционирования, но и высококвалифицированные специалисты в области финансов и юриспруденции, имеющие специализированное образование и многолетний опыт.

Глобальные Навигационные Спутниковые Системы

GNSS

Комплексные Решения Задач Высокоточного Позиционирования с Использованием Спутниковых и Инерциальных Технологий

ООО «ГНСС плюс» Россия, Москва
 +7 (495) 988 7252, 643 0211
 info@GNSSplus.ru, www.GNSSplus.ru

Именно с таким багажом знаний и накопленного опыта компания «ГНСС плюс» отправляется в путь. Стартовым этапом решено определить выставку GEOFORM+ 2008 (Москва, МВЦ «КрокусЭкспо», 11–14 марта 2008 г.). На этой выставке на стенде компании (павильон 1, зал 2, место Е 1192.) все желающие смогут ознакомиться с нашими идеями и разработками. В апреле 2008 г. мы также планируем принять участие в Международном форуме по спутниковой навигации (Москва) и VI Международном научном конгрессе «ГЕО-Сибирь» (Новосибирск), представив доклады по тематике комплексирования спутниковых и инерциальных технологий для решения задач высокоточного определения пространственных координат подвижных объектов.

А.Ю. Янкуш
(«ГНСС плюс»)

▼ Компания «Геодезические приборы»

ЗАО «Геодезические приборы» уже почти семь лет обеспечивает многие изыскательские и строительные фирмы геодезической техникой и программным обеспечением, являющихся неотъемлемой частью современных технологий. Компания взаимодействует с ведущими предприятиями г. Санкт-Петербурга, Ленинградской области и других регионов и городов северо-запада России.

2008 год коллектив компании встретил в новом помещении. Это определенный этап в развитии любой компании, ко-

торый направлен, прежде всего, на более высокий и качественный уровень решения полного комплекса задач, стоящих перед ее специалистами. В настоящее время ЗАО «Геодезические приборы» не просто предлагает отдельные приборы и программное обеспечение, а предоставляет комплексные решения, оказывая методическую помощь при внедрении новой техники и технологий в производственные процессы, занимается обучением специалистов, ведет техническое обслуживание и сопровождение поставляемого оборудования (ремонт, экспертиза, метрологическое обеспечение), осуществляет его доставку по Санкт-Петербургу и в любой регион России.

Для решения этих задач в компании имеется:

- просторный торговый зал, постоянно действующая выставка и группа продаж;

- дополнительный офис, расположенный в южной части города;

- учебный класс, группы технической поддержки и методической помощи при внедрении отдельных приборов, программного обеспечения и технологических решений;

- оборудованный склад продукции и служба логистики;

- лицензированный сервисный центр, включающий новые стенды и установки, возможность компьютерной диагностики, цифровые системы тестирования, автоматизированные системы поверки и др., в котором работают специалисты в области приборостроения, навигационных систем, метрологии, прошедшие обучение в компаниях-производителях оборудования и программного обеспечения.

С появлением нового офиса расширились возможности организации занятий постоянно действующего с июля 2005 г. Регионального учебно-внедренческого центра по обучению



и внедрению современных автоматизированных инженерно-геодезических, инженерно-геологических и проектных технологий на основе ПК CREDO. В первом полугодии 2008 г. запланировано проведение семи учебно-практических семинаров по программным модулям ПК CREDO. Расписание занятий можно узнать на сайте компании www.geopribori.ru или по многоканальному тел: (812) 363-43-23.

Приглашаем посетить новый офис компании по адресу: Санкт-Петербург, ул. Большая Монетная, 16.

В.И. Глейзер
(«Геодезические приборы»)

▼ Компания «Геокосмос»



Аэросъемочные работы в рамках предпроектных работ по строительству горнолыжного курорта в Карелии

В рамках предпроектных работ для строительства нового горнолыжного курорта в Карелии компания «Геокосмос» провела аэросъемочные работы в районе полуострова Спасская Губа. На основе геопространственных данных, предоставленных компанией «Геокосмос», была проведена совокупная оценка территории, и разработаны варианты месторасположения объекта.

В интересах дальнейшего проектирования горнолыжного курорта компания «Геокосмос»



провела комплекс аэросъемочных работ с высоты 1000 м. Съемка осуществлялась с борта вертолета Ми-8Т с использованием воздушного лазерного сканера ALTM 2050 и среднеформатной цифровой аэрокамеры Rollei. По результатам съемки заказчику были переданы цифровые модели рельефа, созданные по данным лазерного сканирования, в виде регулярной триангуляционной сети с шагом 1 м, а также цифровая модель в виде горизонталей с нанесенными контурами в ПО MicroStation, TerraSolid и AutoCAD. Точность в плане и по высоте составила 12 см, точность разрешения фотоснимков — 60 см.

Создание крупномасштабной геоподосновы для строительства олимпийских объектов в районе г. Сочи

Завершен еще один проект в Краснодарском крае в рамках инженерных изысканий для строительства олимпийских

объектов в районе г. Сочи.

Подготовка к Олимпиаде-2014 спровоцировала настоящий строительный бум и, разумеется, все организации, вовлеченные в процесс строительства, заинтересованы в максимально быстром получении предпроектной документации, в частности, крупномасштабной геоподосновы для начала проектирования и строительства. По заказу ОАО «Красная Поляна» в районе Имеретинской низменности и части горного массива над ней компанией «Геокосмос» были выполнены работы по воздушному лазерному сканированию и цифровой аэрофотосъемке в максимально сжатые сроки, а камеральная обработка данных, зачастую, происходила в автоматическом режиме. Полевое дешифрирование при использовании этих технологий не требуется, за исключением случаев создания специальных топографических планов масштаба 1:500.

По результатам воздушного лазерного сканирования (ALTM 3100) и цифровой аэрофотосъемки (Rollei) была создана традиционная для задач проектирования продукция:

- цифровые топографические планы масштаба 1:1000 на равнинную территорию;
- цифровые топографические планы масштаба 1:500 на горную территорию;
- ортофотоплан масштаба 1:1000 с размером пикселя 0,09 м на местности;
- нерегулярные цифровые модели рельефа и местности;
- текстурированные модели рельефа.

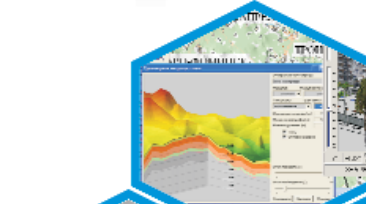
Аэросъемка территории Рогожниковского месторождения в Ханты-Мансийском автономном округе

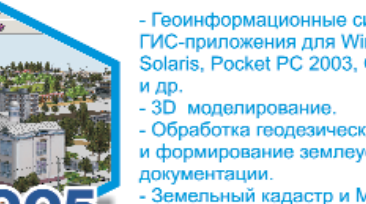
Рогожниковское месторождение — одно из наиболее молодых и бурно развивающихся месторождений ХМАО. В ходе разведки на месторождении были выявлены крупные запасы



КБ ПАНОРАМА

www.gisinfo.ru





ГИС КАРТА 2005

GIS WebServer

GIS ToolKit

“Земля и Право”

Недвижимость

Блок “Геодезия”

3D-моделирование

- Геоинформационные системы и ГИС-приложения для Windows, Linux, Solaris, Pocket PC 2003, OC-PB, QNX и др.
- 3D моделирование.
- Обработка геодезических измерений и формирование землеустроительной документации.
- Земельный кадастр и Межевое дело.
- Кадастр объектов недвижимости.
- Подготовка карт к изданию.
- Программное обеспечение для разработки собственных ГИС.



КБ «ПАНОРАМА»
 Россия, 119017, г. Москва,
 Б. Толмачевский пер., дом 5, офис 1004
 Тел.: (495) 739-0245, 725-1991
 Тел./факс: (495) 739-0244
 E-mail: panorama@gisinfo.ru
<http://www.gisinfo.ru>

Официальный разработчик ГИС «Карта 2005», GIS ToolKit, «Земля и Право»

Свидетельство Роспатент: 940001, 990437, 990438, 2000610135, 2000610161
 © Copyright Panorama Group 1991-2007

нефти (более 490 млн т) в отложениях триаса и палеозоя, приуроченные к сложнопостроенным коллекторам. Его освоение началось в 2005 г. Масштабы освоения Рогожниковского месторождения, уникального по сложности и темпам строительства, не имеют аналогов в истории развития региона.

Компания «Геокосмос» по заказу ОАО «Сургутнефтегаз» провела аэросъемку территории Рогожниковского месторождения на общей площади 1012 км². Для работ использовался лазерный сканер воздушного базирования ALTM 3100 и цифровая среднеформатная аэрофотокамера Rollei. По результатам аэросъемки были построены нерегулярная цифровая модель рельефа (TIN) в виде триангуляционной сети и цифровая модель рельефа в виде горизонталей с сечением рельефа 1 м.

Материалы, созданные спе-

циалистами компании, будут использованы в качестве геоподосновы при проектировании инфраструктуры месторождения.

Семинар «Лазерное сканирование и цифровая аэрофотосъемка: эффективные решения для экономики Индии» (Индия, 7 февраля 2008 г.)

Семинар был подготовлен и проведен компанией «Геокосмос» в рамках 11-й Международной конференции и выставки Map India 2008 (6–8 февраля 2008 г.). Специалисты компании продемонстрировали результаты последних проектов, реализованных за рубежом, и наглядно показали каким образом современные геоинформационные технологии, предлагаемые компанией, могут быть эффективно использованы для решения широкого спектра задач в приложении к той или иной отрасли индийской экономики.

В отличие от специализиро-

ванных семинаров, традиционно проводимых многими компаниями в рамках Map India, компания «Геокосмос» предложила конкретные модели применения передовых технологий с привязкой к местным условиям. На семинаре были рассмотрены наиболее актуальные задачи для развивающегося рынка Индии, в том числе: развитие городской инфраструктуры, планирование строительства, реконструкция железнодорожной сети страны, учет объемов сельскохозяйственных угодий, прогнозирование и мониторинг чрезвычайных ситуаций и др.

По окончании семинара на стенде компании «Геокосмос» был проведен ряд результативных встреч с руководством местных компаний, а также государственных департаментов и муниципалитетов.

По информации пресс-релизов компании «Геокосмос»



Новые тахеометры серии 1200+ и многое другое...

ГЕОМЕТР  **Центр**
официальный дистрибьютор 

тел./факс (495) 580-5816
info@geometer-center.ru,
www.geometer-center.ru

подробности на нашем сайте!

Компания JAVAD GNSS

На сайте компании JAVAD GNSS (www.javad.com) размещена информация о новой технологии TRIUMPH и основанном на ней новом поколении геодезической и навигационной продукции для профессионального применения. Новая продукция включает не только аппаратные средства для ГНСС-измерений — чип TRIUMPH и OEM-платы, спутниковые приемники TRIUMPH-1, TRIUMPH-4X и антенны, но и программное обеспечение Giodis, Justin, Trasy к полевому защищенному компьютеру Victor.

Поскольку ряд патентов, лежащих в основе технологии TRIUMPH, находится на стадии рассмотрения, на сайте и в февральском номере журнала GPS World приводится только краткая информация об оборудовании, программном обеспечении и технических решениях. Но и этого вполне достаточно, чтобы оценить инновации, которые включает данная технология. Более полные сведения будут доступны на сайте в апреле 2008 г.

Основой разработанного спутникового оборудования является чип TRIUMPH, имеющий размер 17x17 мм, 216 каналов и позволяющий принимать сигналы действующих и перспективных глобальных навигационных спутниковых систем: GPS, ГЛОНАСС, Galileo, QZSS, WAAS, EGNOS и Compass/Beidou.

Для разработчиков спутникового навигационного оборудования ГНСС предлагается шесть типов OEM-плат, основой которых является чип TRIUMPH. Приводятся их технические характеристики и стоимость.



Подробно описывается конструкция приемника ГНСС TRIUMPH-1, представляющего собой герметичный корпус размером 160x160 мм и весом 1 кг. Он включает приемник и антенну ГНСС, радио-модем, GSM-модуль, поддерживающий работу с двумя SIM-картами, Bluetooth, WiFi, аккумулятор, работающий без подзарядки до 20 часов и др.



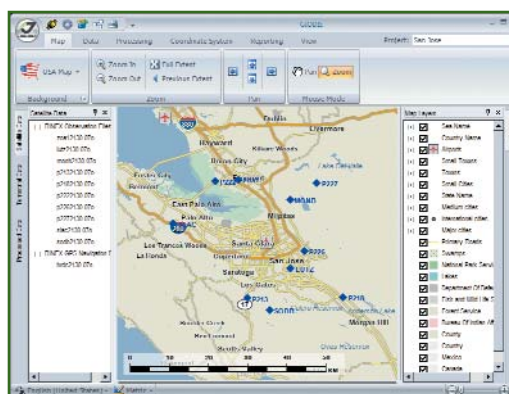
Для работы с этим приемником в режиме RTK предлагается простое техническое решение. Используя его, исполнитель может точно устанавливать приемник (антенну) над измеряемой точкой, свободно перемещаться вокруг нее с полевым компьютером в руке, а при переходе на следующую точку не нести вежу с антенной, а легко транспортировать ее на двух колесах.

С приемником ГНСС TRIUMPH-4X, предлагается принципиально новая технология «4X4 ALL WILL Drive RTK» для работы в режиме RTK. Каждый приемник TRIUMPH-4X эквивалентен четырем обычным геодезическим приемникам. Работа в режиме «4X4 ALL WILL Drive RTK» или «Cluster RTK»

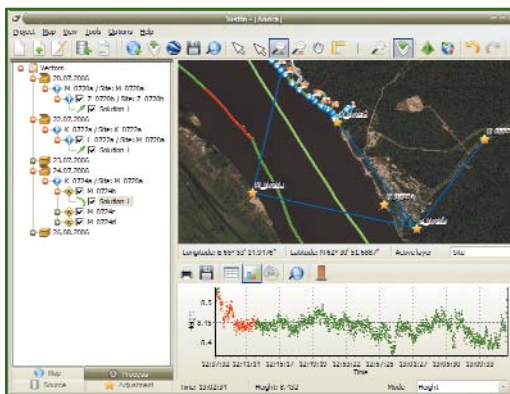


подразумевает измерения 16-ти базовых линий на восьми точках с частотой 20 Гц. Такой режим RTK-измерений позволит повысить точность и достоверность измерений.

Программное обеспечение Giodis является офисным программным обеспечением и предназначено для высокоточной постобработки ГНСС-измерений, управления сетями базовых станций, обработки данных в различных системах координат, ведения каталога пунктов и др.



Justin — это новое поколение программного обеспечения, позволяющее обрабатывать результаты ГНСС-измерений и использовать их для решения разнообразных прикладных задач при создании и ведении ГИС-проектов.

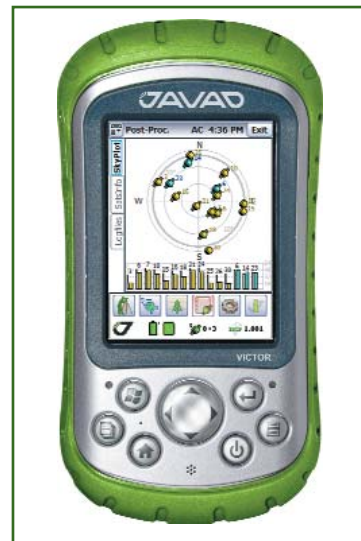


Трасу является универсальным и мощным полевым программным обеспечением для работы с мобильными полевыми компьютерами. Оно работает в операционной системе Windows Mobile и предназначено для управления процессом ГНСС-измерений в различных режимах (статика, быстрая статика, «стой-иди», накопления

данных), а также для работы в режиме RTK.

Victor представляет собой защищенный полевой компьютер, отвечающий стандартам работы в полевых условиях с повышенной влажностью и вибрацией, в достаточно широком спектре температуры окружающей среды от -30°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Компьютер разработан компанией Juniper Systems, Inc. (США), одним из ведущих поставщиков полевых защищенных компьютеров. ПО Trasy, установленное в компьютер Victor, обеспечивает автоматическое соединение и управление приемником ГНСС TRIUMPH-1 (TRIUMPH-4X) и модемом посредством Bluetooth.

Отдельные разделы сайта посвящены коммерческим предложениям для покупателей и дилеров оборудования.



Надеемся, что в ближайших номерах журнала появится более подробная информация о технологии TRIUMPH, представленная ее разработчиками.

В.В. Грошев

(Редакция журнала «Геопрофи»)

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

▼ «Талка-ГИС» и «Талка-КПК»

Компания «Талка-ГИС» разработала новое программное обеспечение «Талка-ГИС» и «Талка-КПК». Программа «Талка-ГИС» предназначена для работы с векторными и растровыми картами, с космическими снимками и аэрофотоматериалами. Программа позволяет создавать и вести геоинформационные проекты.

Демонстрационную версию программы «Талка-ГИС» можно скачать с сайта <http://gis.talka2000.ru>. Пользователи ПО «ЦФС-Талка» 3.5 могут скачать полную версию программы «Талка-ГИС».

Программа «Талка-КПК» предназначена для полевого дешифрирования. Она позволяет вести сбор семантики непосредственно в электронную карту. Программа может работать совместно с геодезическими спутниковыми приемниками

JAVAD, выполняя функции контроллера. Программа предоставляет возможность осуществлять полевую геодезическую съемку, а также может использоваться как навигатор при наличии навигационного спутникового приемника.

Полную версию программы можно скачать с сайта <http://gis.talka2000.ru>. Без файла лицензии программа будет работать в демонстрационном режиме.

По информации

Группы компаний «Талка»

▼ Русскоязычная версия MapInfo Professional 9.0

В декабре 2007 г. вышла русскоязычная версия геоинформационной системы MapInfo Professional 9.0.

Первая версия ГИС MapInfo Professional была разработана в 1987 г. компанией MapInfo, и стала одной из самых популярных ГИС в мире. В настоящее

время MapInfo Professional используется в 130 странах, переведена на 20 языков, включая русский, и установлена в десятках тысяч организаций. В России благодаря простоте освоения, богатым функциональным возможностям и доступной стоимости MapInfo Professional стала наиболее массовой геоинформационной системой.

Версия 9.0 сертифицирована для использования под управлением операционной системы Windows Vista Ultimate, а также работает с Windows XP Professional SP2, XP Home SP 2, XP (64-bit) и Windows 2000 SP 4, Windows 2003 Server и Citrix Meta Frame v4.x. Для одного рабочего места можно использовать персональную лицензию, а для организации с несколькими рабочими местами — многопользовательскую «плавающую» лицензию. ГИС MapInfo

может быть установлена на любом количестве рабочих мест, но количество одновременно работающих программ будет ограничено числом приобретенных лицензий.

ГИС MapInfo не имеет ограничений по объему используемых данных. Сдерживающим фактором могут быть ограничения операционной системы на размер файлов и ресурсы компьютера.

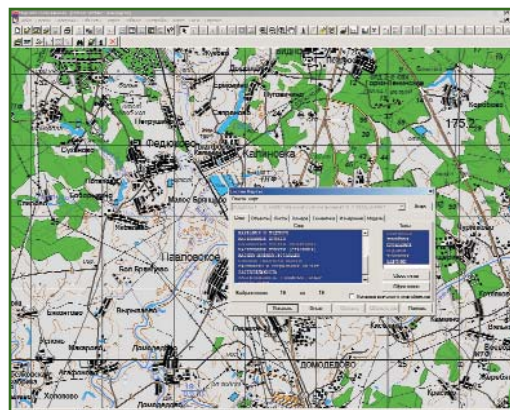
Данная ГИС может выполнять функции картографического клиента для всех современных СУБД, позволяет получать растровые и векторные данные с картографических Интернет-серверов по протоколам WFS и WMS. В ней поддерживается более 300 координатных систем, включая принятые к использованию в России. Кроме того, можно создавать собственные системы координат. При совместном использовании карт, имеющих разные проекции, система автоматически приводит

пространственные данные к единой проекции.

В новой версии, кроме полного набора средств для оформления карт и подготовки высококачественных отчетов, имеется возможность наносить подписи по кривой.

В поставку MapInfo включены набор условных обозначений и редактор стилей линий. С русскоязычной версией поставляется дополнительный набор условных знаков для различных масштабов, принятых в РФ.

В MapInfo Professional 9.0 имеется возможность прямого чтения геометрии пространственных объектов из форматов ArcView Shape File, ESRI ArcSDE, ESRI Geodatabase (mdb), ARC/INFO E00, AutoCAD DXF/DWG, Intergraph/MicroStation Design DGN, SDTS, VPF. Универсальный транслятор позволяет осуществлять импорт и экспорт геометрии пространственных объектов в другие ГИС и САПР системы (ESRI Shape File, AutoCAD DXF/DWG,



Intergraph/MicroStation Design DGN, AtlasGIS, ARC/INFO E00). MapInfo можно работать с данными в растровых форматах GIF, JPEG, TIFF, GEO TIFF, PCX, BMP, TGA, BIL и др., включая новые форматы сжатого раstra — ECW, MrSID, JPEG2000.

Особенностью русскоязычной версии MapInfo 9.0 является наличие модулей, позволяющих работать в ГИС MapInfo с данными в форматах AutoCAD, MicroStation, ArcView, ObjectLand и «Карта 2005», с

МАРІНФО®
Современные геоинформационные технологии

С полевых измерений все только начинается ...

в России

ЭСТИ МАП
119002 Москва Калосин пер.4
тел/факс (495) 540-4659, 241-0057
www.esti-map.ru e-mail: esti-m@esti-map.ru

полным сохранением стилей оформления и геометрии пространственных объектов. Модули не требуют преобразования данных в формат MapInfo и не

требуют установки на компьютере пользователя системы, в которой они были подготовлены. Благодаря общей идеологии построения модулей, пользова-

тель, изучив работу с одним модулем, может легко освоить и остальные.

**По информации
компании «ЭСТИ МАП»**

ДАННЫЕ

▼ Данные со спутника ALOS — основа для создания и обновления государственных карт Японии масштаба 1:25 000

16 января 2008 г. было проведено совместное заседание японского космического агентства JAXA и государственного агентства Geographical Survey в составе Комиссии по космической деятельности. По итогам заседания было сделано совместное заявление, в котором отмечается следующее:

1. Японское государственное агентство Geographical Survey, ответственное за выполнение

картографических работ в Японии, намерено активно использовать данные со спутника ALOS для обновления государственных картографических материалов масштаба 1:25 000.

2. Японское космическое агентство JAXA и японское государственное агентство Geographical Survey подтверждают высокие точностные характеристики данных, получаемых со спутника ALOS/Daichi, а также высокое качество изображений, что позволяет использовать их для обновления государственных картографических материалов масштаба 1:25 000,

к которым предъявляются жесткие требования.

Данное заявление опубликовано на официальном сайте японского космического агентства JAXA.

Следует отметить, что высокие геометрические и точностные характеристики данных, получаемых со спутника ALOS/Daichi, подтверждаются многочисленными исследованиями, выполненными ведущими профильными организациями как в Японии, так и за ее пределами, в том числе в России.

**По информации
компании «Совзвезд»**



SOUTH

9600 Polaris

Интегрированный
приемник
для решения
Ваших задач







- создан на базе OEM платы, компании NovAtel
- лучшее соотношение цена/качество
- имеет экран и клавиатуру для настройки, контроля и управления съемкой
- диапазон рабочих температур от -40С до +65С





GPS COM

НАУЧНО-ПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ КОМПАНИЯ

109388, г. Москва, ул. Полбина, д. 5, стр. 1
 тел.: (495) 232-28-70, факс: (495) 234-41-47
 e-mail: info@GPScom.ru, web: www.GPScom.ru

ОФОРМЛЕНИЕ ОРИГИНАЛА РЕЛЬЕФА

А.И. Алчинов (ИПУ РАН)

В 1972 г. окончил Ленинградское военно-топографическое училище, в 1982 г. — геодезический факультет Военно-инженерной академии им. В.В. Куйбышева. В настоящее время — заведующий 22-й лабораторией Института проблем управления РАН им. В.А. Трапезникова, президент Группы компаний «Талка». Доктор технических наук, профессор. Заслуженный работник геодезии и картографии РФ.

В.Б. Кекелидзе (НПФ «Талка-ТДВ»)

В 1997 г. окончил Московский колледж геодезии и картографии по специальности «аэрофотогеодезист», в 2000 г. — горный факультет Московского открытого университета по специальности «горный инженер-маркшейдер». С 2000 г. по настоящее время — младший научный сотрудник 22-й лаборатории ИПУ РАН. С 2002 г. — заместитель генерального директора НПФ «Талка-ТДВ».

А.В. Иванов (НПФ «Талка-ТДВ»)

В 1979 г. окончил механико-математический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова по специальности «математика». С 1983 г. работал на Рязанском производственно-техническом предприятии. С 2001 г. по настоящее время — программист НПФ «Талка-ТДВ».

В.В. Костин («Талка-ГИС»)

В 1998 г. окончил механико-математический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «математик». В настоящее время — старший научный сотрудник Института проблем управления РАН им. В.А. Трапезникова, руководитель отдела программирования ООО «Талка-ГИС». Кандидат физико-математических наук.

Описание рельефа в виде горизонталей, пикетов, урезов воды называется оригиналом рельефа. Создание оригинала рельефа по различным данным в программном комплексе «Талка ЦФС» рассмотрено в предыдущих статьях журнала (см. № 3-2005, 1-2007 и 6-2007). В данной статье рассказывается об оформлении созданного оригинала рельефа: расстановке надписей к его элементам и бергштрихов. В «Талка ЦФС» присутствует полный набор автоматических средств оформления оригинала рельефа (рис. 1). В большинстве случаев результаты автоматической обработки бывают вполне приемлемыми, поскольку отработаны на обширном практическом материале, но при необходимости их можно подкорректировать с

помощью удобных средств ручного редактирования.

Автоматические средства представлены в виде задач карты. Задачи оформления могут быть собраны в пакет и запущены одной кнопкой. Пакет задач — это выбранный пользователем набор задач с установленными им параметрами, исполняемых как единое целое. Задачи пакета будут выполняться одна за другой, и могут обрабатывать сразу несколько карт, включенных в проект.

Задача «Создать подписи к горизонталям» расставляет подписи ко всем выбранным горизонталям (можно, например, ограничиться лишь теми, высота которых кратна указанному, в том числе нецелому числу), в соответствии с картографическими требованиями на плот-

ность подписей, читаемость и «красоту» оформления. То есть, подписи ставятся в наиболее «гладких» местах горизонталей, по возможности равномерно, не «вверх ногами», и, не пересекаясь с остальными объектами, включенными в отображение (либо находясь от них не ближе, чем на указанное расстояние). Учитывается также «насыщенность» обстановки: в тех местах, где горизонталей идут редко, плотность подписей снижается, чтобы не загромождать карту. Направление подписей «наверх» относительно горизонталей (оно указывает возрастание высоты) может определяться автоматически, по заданному этим горизонталями рельефу, а может использовать направление самих горизонталей, если при построении

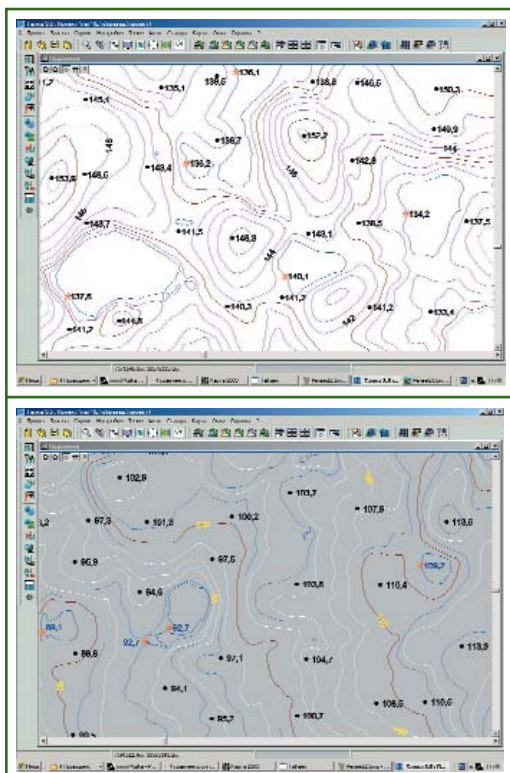


Рис. 1

Примеры оформления оригинала рельефа

оригинала рельефа они уже были «ориентированы» нужным образом.

Алгоритм задачи в общих чертах может быть описан так: обрабатываемая область делится сеткой на квадратные ячейки так, что, если в каждой ячейке будет поставлена ровно одна подпись, то количество подписей на квадратный дециметр карты будет близко к входному параметру. Далее ячейки упорядочиваются таким образом, чтобы не было геометрически близких соседних по порядку ячеек, и в этом порядке, последовательно, обрабатываются. Для каждой ячейки рассматриваются все горизонталы, ее пересекающие, и все варианты расположения подписей на них. Каждому варианту присваивается числовая оценка, описывающая «качество» расположения подписи. На оценку влияют: длина «ровного участка горизонтали» в этой точке, расстояние до соседних подписей (в том числе на той же горизон-

тали), «неперевернутость» подписей и т. д. После общего цикла, по всем ячейкам проводится дальнейшее уточнение, удаляющее, в частности, слишком густое расположение подписей в случае «редкого» набора горизонталей. Используемый алгоритм «отрегулирован» на значительном числе практических примеров.

Для ручной правки подписей горизонталей используется режим «Подписи к горизонталям». При работе в этом режиме курсор подводится к горизонтали, где должна быть подпись, и при нажатии клавиши «мышки» автоматически выставляется подпись. А если курсор подвести к области, где подпись уже была, при нажатии клавиши «мышки» эта подпись стирается. Таким образом, для добавления недостающей подписи или удаления лишней достаточно подвести курсор к ней и нажать клавишу «мышки».

Задача «Создать подписи к пикетам» применяется для расстановки подписей к отметкам высот и урезам воды. Место для подписи рядом с пикетом выбирается автоматически, в соответствии со стандартными картографическими требованиями. При этом можно выбирать такой режим, чтобы подпись не попадала на включенные для

отображения объекты (т. е. была бы к ним не ближе указанного расстояния) и другие создаваемые подписи (рис. 2). В последнем случае иногда возникают ситуации, когда из-за большого скопления объектов вокруг пикета невозможно поставить подпись, не пересекаясь с ними. В зависимости от пожелания пользователя, подпись может ставиться, «налеза» на объекты, или не ставиться вообще. Тогда найти и исправить такие ситуации помогает стандартный пакет задач «Пикеты без подписей».

Задача «Создать бергштрихи» применяется для расстановки бергштрихов на горизонталях с учетом нормативных требований. Места расстановки бергштрихов определяются автоматически, при этом находятся:

- минимальные замкнутые горизонталы (не охватывающие никакие другие горизонталы и соответствующие вершинам и впадинам рельефа);
- минимальные горизонталы, упирающиеся в рамку оригинала рельефа (не охватывающие вместе с рамкой никакие другие горизонталы и соответствующие максимумам и минимумам высот рельефа в окрестности рамки);
- отрезки горизонталей

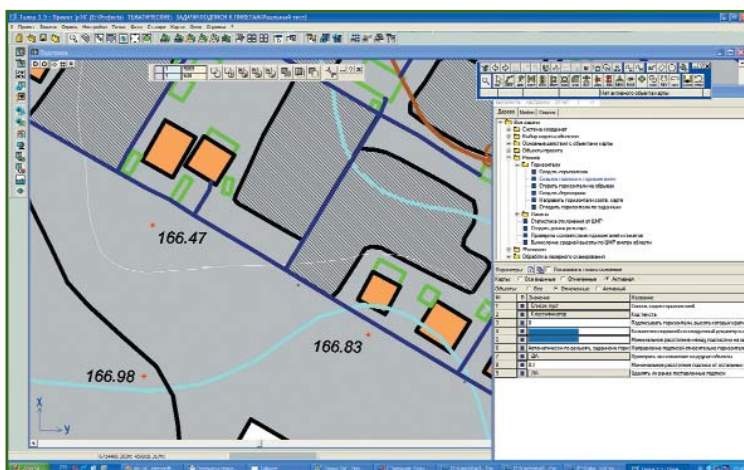


Рис. 2

Подписи к пикетам, не попадающие на объекты карты

вблизи седловин рельефа. На этих горизонталях находятся точки максимальной кривизны, причем эти точки отбираются с учетом минимального расстояния между бергштрихами одной и той же горизонтали, которое является параметром задачи. Далее, для всех полученных точек максимальной кривизны определяется направление ската рельефа и проводится бергштрих в этом направлении.

Для ручной правки бергштрихов применяется режим «Бергштрихи». Бергштрихи удобно расставлять, используя достаточно мелкий масштаб показа карты на дисплее, чтобы видеть картину рельефа в целом. При работе в этом режиме курсор располагают в окрестности заданной горизонтали, и при нажатии клавиши «мышки» он автоматически размещается в точке с максимальной кривизной горизонтали, а из найденной точки проводится бергштрих. Направление бергштриха также определяется автоматически, путем анализа картины горизонталей в окрестности точки, из которой должен быть проведен бергштрих. В том случае, если в окрестность курсора попадает более одной горизонтали, то автоматически происходит увеличение масштаба отображения карты вдвое, пока не будет однозначно определено, на какую горизонталь должен быть поставлен бергштрих.

Принципиальная новизна изложенной технологии оформления оригинала рельефа состоит в том, что она использует только информацию о горизонталях и пикетах, а не ЦМР. Применение ЦМР для определения направления горизонталей может привести к грубым ошибкам при нахождении направления ската на оригинале рельефа. Поясним это утверждение на примере ЦМР и оригинала рельефа. Для определенности предположим, что

масштаб оригинала рельефа равен 1:1000, т. е. при редактировании горизонталей каждую из них можно смещать на расстояние, составляющее $1/4$ заложения рельефа, что соответствует требованию п. 20.4 «Инструкции по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500». ГКИНП-02-033-79. На рис. 3 приведено трехмерное изображение поверхности рельефа в системе координат $Oxyz$, где x, y — плановые координаты, z — высота. На переднем плане штриховкой показано сечение рельефа вертикальной плоскостью Oxz . Предполагается, что возвышение точки M локального максимума высоты рельефа над сечением AC рельефа меньше $1/4$ заложения рельефа. Здесь AB — исходная горизонталь, построенная по ЦМР, A_1B_1 — преобразованная горизонталь AB , полученная в результате правки горизонталей при построении оригинала рельефа. Кроме того, изображены горизонталь CD той же высоты, что и горизонталь AB , и две горизонтали EF и GH , имеющие меньшую высоту, чем горизонталь AB . В этом примере предполагается, что вблизи оси Ox горизонтали проходят параллельно оси Oy . Пунктирными линиями на заштрихованном сечении изображены уровни высоты, соответствующие заданной высоте сечения рельефа. Для горизонтали A_1B_1 , согласно ЦМР, направление ската совпадает с направлением оси x . В то же время на оригинале рельефа горизонтали A_1B_1 и CD лежат между горизонталями EF и GH , имеющими меньшую высоту. Отсюда следует, что на оригинале рельефа при движении от горизонтали EF к горизонтали A_1B_1 происходит повышение рельефа, т. е. согласно оригиналу рельефа направление ската совпадает с противоположным направлением оси x . Таким

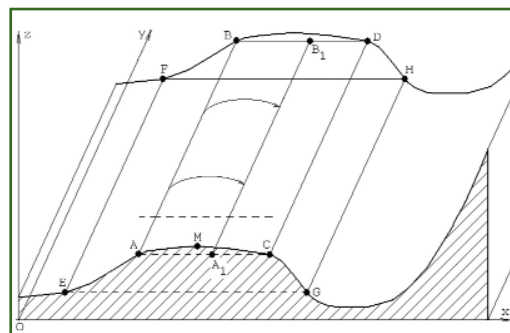


Рис. 3
Определение направления ската по ЦМР и по оригиналу рельефа

образом, направление ската, полученное по оригиналу рельефа, не совпадает с направлением ската, полученным по ЦМР.

В настоящее время Институтом проблем управления РАН подана заявка 2008101430 от 22 января 2008 г. на выдачу патента «Способ расстановки бергштрихов на оригинале рельефа, компьютерный способ распознавания на оригинале рельефа частей горизонталей, проходящих через области с малыми уклонами, и компьютерный способ распознавания минимальных контуров, составленных горизонталями и рамкой оригинала рельефа», и готовится к подаче заявка на выдачу патента на изобретение «Способ нанесения надписей горизонталей на оригинале рельефа и способ назначения положений маркировочных знаков протяженных линейных объектов заданного типа на графическом изображении».

RESUME

A description in detail is given for the automated and semi-automated placing of hachures as well as for annotating the contours while making the relief drawing appearance. This work has been fulfilled by specialists of the Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences and patent application has been prepared and submitted.

ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА СНЕГОНАКОПЛЕНИЯ ПО ДАННЫМ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Е.С. Бойко («ИнжГеоГИС», Краснодар)

В 2001 г. окончил географический факультет Кубанского государственного университета (КубГУ) по специальности «география». После окончания университета работал на Северо-Кавказском аэрогеодезическом предприятии и одновременно преподавал геоинформационное картографирование и аэрокосмические методы исследований на кафедре геоинформатики КубГУ. В 2004 г. окончил аспирантуру КубГУ. С 2006 г. работает в ООО «ИнжГеоГИС», в настоящее время — начальник отдела обработки данных дистанционного зондирования.

А.В. Погорелов (Кубанский государственный университет, Краснодар)

В 1979 г. окончил географический факультет Кубанского государственного университета (КубГУ) по специальности «география». После окончания университета работал в Краснодарском краевом центре по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. С 1991 г. работает в КубГУ, в настоящее время — заведующий кафедрой геоинформатики географического факультета КубГУ. Доктор технических наук.

Бассейн р. Мзымты, включая район курортного поселка Красная Поляна, относится к наиболее снежным территориям Кавказа. По данным снегомерных наблюдений гидрометеорологической службы здесь в периоды максимального снегонакопления (февраль–март) на высотах 1200–2400 м формируется снежный покров, средней толщиной 120–340 см. Фоновые показатели снежности в бассейне р. Мзымты (табл. 1) создают весьма благоприятные предпосылки для развития зимних видов отдыха и спорта и устойчивой эксплуатации соответствующей рекреационной инфраструктуры проектируемого горнолыжного комплекса «Роза Хутор» (рис. 1).

Снежный покров, по сути дела, выступает главным элементом и одновременно естественным условием зимней рекреации, поэтому оперативные сведения о нем способствуют оптимальному управлению службами зимнего курорта. Показатели распределения снежного покрова в этом

смысле представляют интерес в следующих основных аспектах: обеспечение катания на горных склонах и предупреждение лавинной опасности. В обоих случаях наиболее информативной характеристикой пространственного распределения снежного покрова служит его толщина.



Рис. 1
Трехмерная модель рельефа верхний р. Мзымта, текстурированная ортофотоизображением: октябрь 2007 г. (слева); апрель 2007 г. (справа)

Фоновые характеристики снежного покрова на период максимального снегонакопления в бассейне р. Мзымты

Таблица 1

Высота местности, км	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
Толщина снега, см	92	119	148	184	227	280	330
Плотность снега, кг/м³	300	310	320	330	340	350	360
Водный эквивалент снега, мм	300	390	500	630	800	1100	1300

ООО «ИнжГеоГИС», совместно с кафедрой геоинформатики Кубанского государственного университета, на основе данных ЗАО «НИПИ «ИнжГео» разрабатывают методику оперативных снегомерных съемок по материалам воздушного лазерного сканирования. В настоящее время выполнены и обработаны результаты трех последовательных аэросъемок горных склонов курорта Красная Поляна в осенний и весенний периоды. Полученные материалы позволяют на практике оценить

возможности метода воздушного лазерного сканирования по картографированию распределения толщины снежного покрова и попутно изучить факторы, оказывающие влияние на формирование снежного покрова — рельеф и растительность.

По данным воздушных лазерных съемок создается высокоточная цифровая модель рельефа. В качестве базовой используется модель, построенная для бесснежной поверхности. Обозначим ее аббревиатурой GSEM

(Ground Surface Elevation Model). В последующем, в зимнее (весеннее) время, выполняются съемки поверхности со снежным покровом. По результатам этих съемок строятся модели, которые обозначим SSEM (Snow Surface Elevation Model).

Точность воздушной лазерной съемки обусловлена параметрами используемой аппаратуры и условиями полета. Для данных съемок применялись воздушные лазерные сканеры ALS50-II (Leica Geosystems) и ALTM 3100 (Optech). Точность определения плановых координат точек составила не менее 30 см, а абсолютной высоты — не менее 15 см. Важным этапом обработки исходных данных служит классификация точек лазерного отражения. Выделяют следующие классы (массивы) точек: поверхность земли (снега), растительность и искусственные объекты.

Методически важно, что базовая цифровая модель рельефа используется для получения комплекса производных морфометрических показателей, характеризующих условия устойчивости снега на горных склонах. Среди них: гипсометрия, углы наклона, экспозиция склона, густота горизонтального и вертикального расчленения поверхности, параметры растительности и др. (рис. 2).

Расчет толщины снежного покрова осуществляется путем вычисления разности высот между моделями SSEM и GSEM. Таким образом, главными результатами работы, помимо цифровых моделей рельефа и местности, являются уникальные по показателям точности и континуальности данные о пространственном распределении толщины снежного покрова (рис. 3).

Обобщенные сведения о толщине снежного покрова на тестовом участке, площадью около 6 км², в интервале абсолютных высот от 1000 м до 2200 м, представлены в табл. 2.

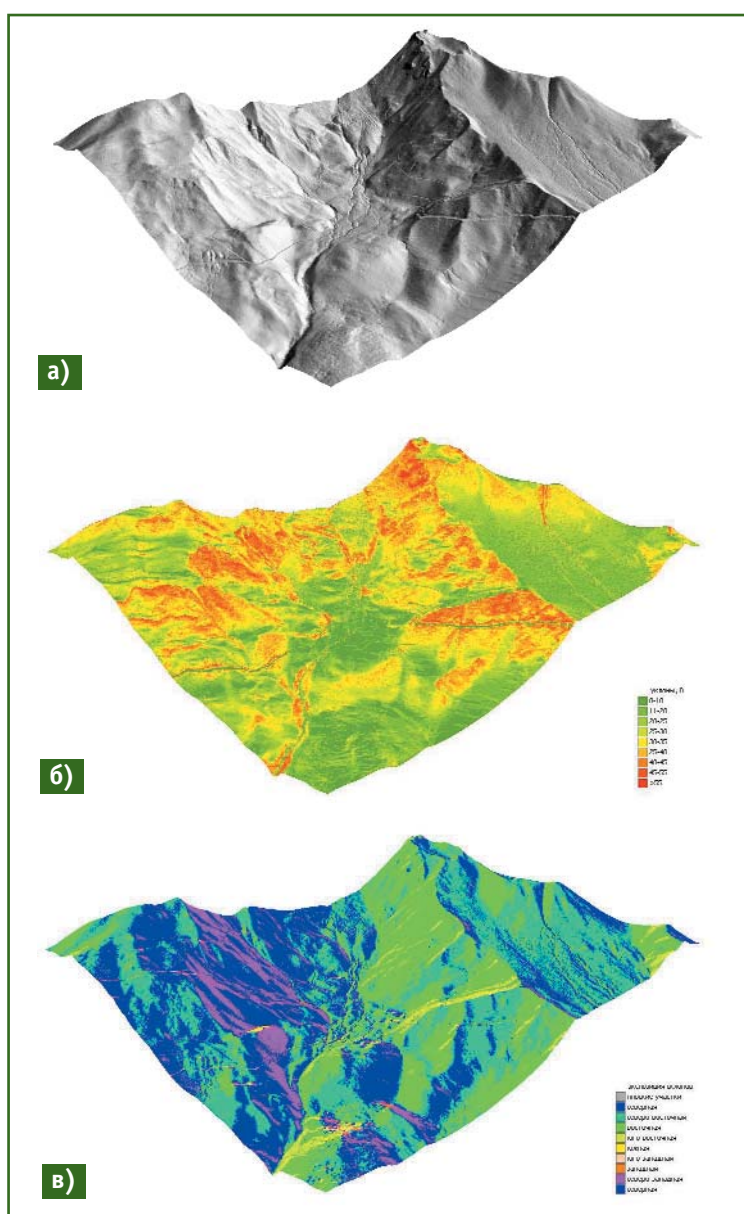


Рис. 2

Трехмерные модели, полученные по цифровой модели рельефа:
а) светотеневая модель рельефа; б) модель уклонов;
в) модель экспозиции склонов

Толщина снежного покрова в районе поселка Красная Поляна по данным воздушной лазерной съемки (21 апреля 2007 г.)

Таблица 2

Интервал абсолютных высот, м	Толщина снежного покрова, см		
	Минимальная	Максимальная	Средняя
1000–1600	17	700	300
1500–2000	120	1400	450
1800–2200	135	900	380

В определенных условиях снежный покров на горных склонах способен терять устойчивость, образуя лавины. Основными причинами лавинообразования являются, во-первых, увеличение массы снега до критической величины в результате выпадения осадков и метелевого снеготранспорта, во-вторых, уменьшение удерживающих сил в результате потери прочности снежной толщи (метаморфизм, таяние, ползучесть). До сих пор сведения о состоянии снежного покрова, включая его толщину, как правило, ограничиваются точечными измерениями в небольшом количестве доступных мест. Вне зоны оценки показателей снежного покрова остается подавляющая часть площади зимнего курорта Красная Поляна. Поэтому точная оперативная оценка континуального распределения показателей снежного покрова, в том числе на труднодоступных горных склонах, играет определяющую роль в информационном обеспечении зимней рекреации и предупреждения лавинной опасности.

Выполненные исследования позволяют предложить следующие рабочие параметры методики оперативной оценки пространственного снегонакопления на горных склонах:

- инструментальная база измерений должна включать воздушный лазерный сканер класса точности ALS50-II;

- базовая съемка местности (земной поверхности) должна соответствовать по точности топографическим планам масштаба 1:2000 при сечении рельефа 0,5 м;

- интервал измерения высоты снежного покрова определя-

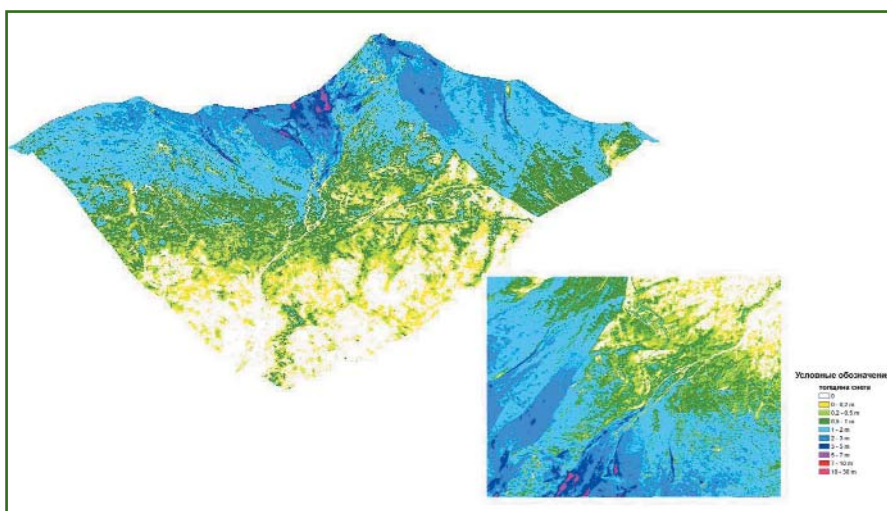


Рис. 3

Трехмерная модель и карта толщины снежного покрова, полученные по данным воздушной лазерной съемки

ется потребностями обеспечения сезонного функционирования зимнего курорта, что, по нашему мнению, составляет от 2–3 съемок за зиму;

- выходные данные целесообразно представлять в форме карт толщины снежного покрова в исследуемом районе в масштабах от 1:1000 до 1:10 000;

- точность оценки толщины снежного покрова при средней плотности точек лазерного отражения 3 точки / 1 м² поверхности должна составлять 7–10 см;

- оперативность представления карт и сопутствующих результатов — от 48 часов после съемки.

Использование воздушного лазерного сканера для съемки земной поверхности в настоящее время является наиболее передовой и эффективной технологией получения высокоточных пространственных данных.

Предлагаемая методика не имеет аналогов в практике ис-

следований снежного покрова в России по критериям: оперативности, точности расчета толщины снежного покрова и «тотального» охвата исследуемой поверхности, включая труднодоступные и лавиноопасные склоны. Проведенные эксперименты обоснованно выводят обеспечение данными о снежном покрове в районах массового лыжного катания и зимней рекреации на принципиально новый информационный уровень.

RESUME

There given the results of ice cover thickness field studies in mountains based on a principally new technology. Laser survey techniques together with the GIS technologies provide for solving applied and fundamental tasks at a new information and analytical level. They include estimation of the ice cover micro- and meso-scale structures by creating precise digital models of the terrestrial surface.

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ И ПРОДУКЦИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА TerraSAR-X*

М.Ю. Александров («Гео-Альянс»)

В 1994 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономогеодезия». После окончания университета работал в ЗАО «Совинформспутник», а с 2003 г. — в ЗАО «Гео-Надир». С 2005 г. по настоящее время — генеральный директор компании ООО «Гео-Альянс».

В настоящее время существуют следующие основные способы дистанционного получения информации о земной поверхности: с помощью оптических и радиолокационных систем. Оптические системы используют отраженный солнечный свет и поэтому считаются пассивными системами. Радиолокационные или радарные (RADio Detecting And Ranging) системы используют собственный источник излучения и называются активными системами. При этом выявление объектов происходит путем получения отраженных электромагнитных волн, переданных на эти объекты. Рас-

стояние до объектов определяется по времени прохождения волной дистанции до объекта и обратно. Радиолокационные системы позволяют получать изображения различных объектов в облачную погоду и ночью, что дает возможность, например, осуществлять постоянный мониторинг ледовой обстановки во время полярной ночи.

Значение серого цвета в пикселе получаемого изображения зависит от трех факторов: характеристик радиолокационной системы, способа обработки радиолокационного изображения и свойств снимаемого объекта. Снимаемый объект можно классифицировать по его геометрии, диэлектрическим свойствам и состоянию (неподвижный или движущийся с определенной скоростью). На уровень серого цвета не влияет освещение, химический состав (за исключением соли и льда) и температура (только замерзший или незамерзший). На рис. 1 показан механизм отражения электромагнитных волн от различных типов объектов. Рассеянное отражение получается от объемных объектов значительной массы, таких как растительность. Оно соответствует сред-

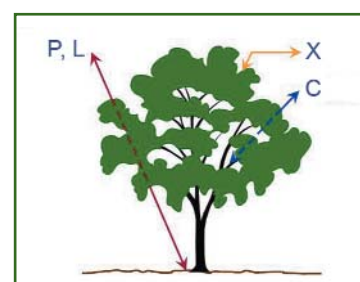


Рис. 2

Отражение электромагнитных волн различного диапазона радиоволновой области от объектов земной поверхности

нему уровню серого цвета в текстуре изображения. Зеркальное отражение образуется от поверхностей, таких как спокойная водная гладь, и соответствует темному уровню в текстуре изображения. Угловое отражение получается от таких объектов, как здания. На изображении ему соответствует яркий уровень.

Отражение электромагнитных волн от объектов земной поверхности зависит от диапазона радиоволновой области электромагнитных волн радиолокатора P, L, X и C (рис. 2). Для радиолокационного комплекса космического аппарата (КА) TerraSAR-X, работающего в диапазоне X с длиной волны 3,1 см, отражение электромагнитных волн происходит от поверхности объекта, а не от Земли.

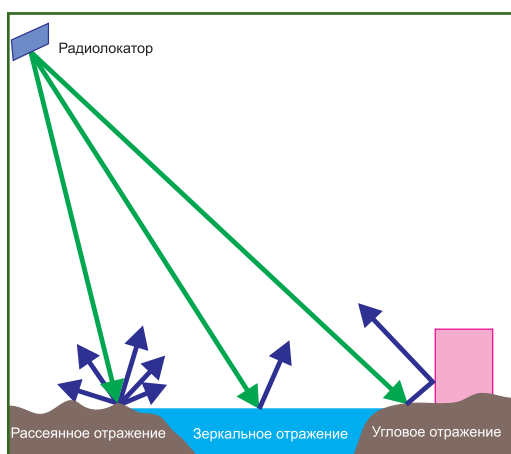


Рис. 1

Виды отражения электромагнитных волн от различных типов объектов

* При подготовке статьи использовались материалы, предоставленные компанией Infoterra GmbH.

Значения диэлектрических коэффициентов различных материалов Таблица 1

Наименование материала	Значение диэлектрического коэффициента
Соль	3–15
Металл (окись железа)	14
Бетон	4,5
Скальные породы	5
Вода	88/80/55 при 0/2/100°C

Диэлектрический коэффициент материала снимаемого объекта влияет на силу возвращаемого отраженного сигнала, поскольку он описывает, насколько хорошо может поглощаться материалом. Кроме того, поглощение электромагнитных волн зависит от их частоты. Значе-

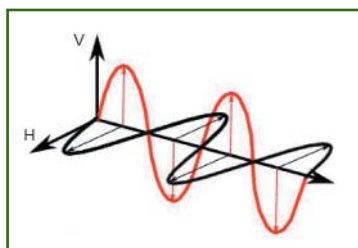


Рис. 3

Схема поляризации сигнала электромагнитных волн радиолокационных систем

ние диэлектрического коэффициента материала объекта показывает возможность его выявления при помощи радиолокационных систем (табл. 1).

Важным физическим параметром радиолокационной съемки является поляризация. Поляризация — это свойство электромагнитных волн распространяться в определенной плоскости (рис. 3). Поляризационные плоскости обычно бывают горизонтальные (H) и вертикальные (V). Различают одинаковые (простые) поляризации — HH или VV, совместные (двойные) поляризации — HH и VV, а также перекрестные или непарные поляризации — HV и VH. Вертикально-поляризован-

ная электромагнитная волна будет эффективно взаимодействовать с вертикальными стеблями растительного слоя, а горизонтально-поляризованная волна — проникать сквозь растительный слой. Комбинирование разных поляризаций может улучшать распознавание различных объектов, поэтому важно правильно выбрать вид поляризации в каждом отдельном проекте.

В радиолокационных системах применяется боковая съемка, в то время как в оптических системах съемка выполняется в центральной проекции (рис. 4). Для КА TerraSAR-X, как правило, применяется правая боковая съемка (рис. 4б).

В результате обработки «сырых» данных отраженный сигнал преобразуется в пиксели. На радиолокационном изображении разрешение в азимутальном и боковом направле-

ниях съемки различно. В боковом направлении съемки сигналы определяют географическое местоположение в соответствии с измеряемой разностью времени прохождения сигнала. Боковое разрешение зависит только от ширины частотного диапазона (150 и 300 МГц) и угла падения. Пространственное разрешение становится лучше с увеличением угла падения.

В азимутальном направлении разрешение постоянно вдоль маршрута и зависит только от режима съемки, размера антенны и частоты повторения импульсов.

▼ Радиолокационные изображения с космического аппарата TerraSAR-X

В ноябре 2007 г. в г. Констанц (Германия) состоялась первая Европейская конференция партнеров — дистрибьюторов TerraSAR-X Services, организованная компанией Infoterra GmbH (Германия). Эта компания уполномочена заниматься коммерческой эксплуатацией радиолокационных данных с КА TerraSAR-X, включая и развитие дистрибьюторской сети. Компания «Гео-Альянс» приняла участие в конференции в качестве российского партнера глобальной дистрибьюторской сети TerraSAR-X Services. На конференции были заслушаны до-

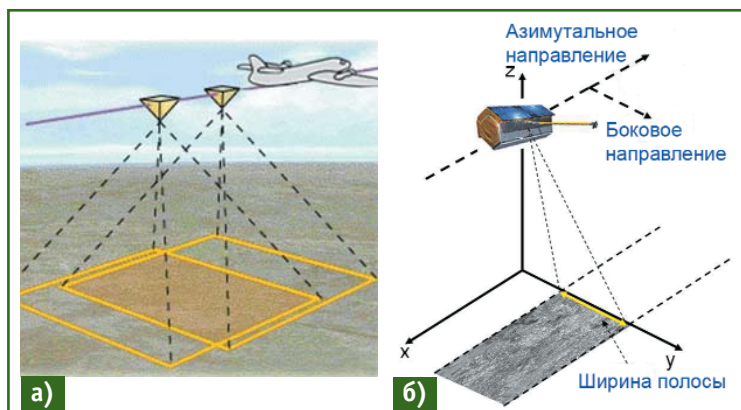


Рис. 4

Геометрия съемки:

а) центральная проекция; б) боковая съемка

Основные параметры солнечно-синхронной, повторяющейся орбиты КА TerraSAR-X

Таблица 2

Наименование параметров	Значения параметров
Скорость вращения на орбите, км/с	7,5
Периодичность съемки, дней	11
Время повторной съемки (с двух сторон), дней	2,5 (95%) 4,5 (100%)
Наклонение орбиты, °	97,44
Местное время пересечения экватора, час:	
— восходящий маршрут	18–00 ±0,35
— нисходящий маршрут	06–00 ±0,35
Высота орбиты над экватором, км	514,8
Изменение высоты орбиты, км	505–533

клады по основным организационным, техническим, финансовым и правовым вопросам, касающимся предоставления сервиса на основе высокодетальных радиолокационных данных TerraSAR-X. На некоторых особенностях этих данных остановимся подробнее.

На космическом аппарате TerraSAR-X (рис. 5), основные технические характеристики орбиты которого приведены в табл. 2, при помощи электронного управления сигналом осу-

ществляется быстрое переключение режимов измерений и наведение на новые участки съемки.

С помощью КА TerraSAR-X радиолокационная съемка выполняется следующими способами: SpotLight, StripMap и ScanSAR (рис. 6). Характеристики каждого способа съемки приведены в табл. 3. Минимальная дистанция между двумя кадрами съемки для режима SpotLight составляет 18–30 км, а для режимов StripMap и ScanSAR — 7 км. Доступны опции мультиполяризации и левой/правой боковой съемки. Разворот спутника для двухсторонней съемки осуществляется меньше чем за 5 минут. Прием данных съемки на Земле может происходить в режиме реального времени.

Радиолокационные изображения с космического аппарата TerraSAR-X предлагаются в четырех основных уровнях обработки: SSC (Single Look Slant Range Complex), MGD (Multilook Ground Range Detected), GEC (Geocoded Ellipsoid Corrected) и EEC (Enhanced Ellipsoid Corrected).

Набор данных одиночной наклонной съемки SSC дает более высокое разрешение. В остальных случаях при уровнях обработки MGD, GEC и EEC применяются от 1 до 7 сигналов, в зависимости от угла падения,

что позволяет улучшить радиометрические характеристики изображения. Заказчик может повлиять на определение количества сигналов. Для проектов, в которых приоритетно улучшение пространственного разрешения, используют минимум сигналов.

Набор данных одиночной наклонной съемки SSC предназначен для приложений, в которых нужна информация о фазе и ширине полосы частот, например, радиолокационная интерферометрия и интерференционная поляриметрия. Уровень обработки SSC включает:

- равноудаленный пиксельный интервал в азимутальном и наклонном диапазонах съемки;
- представление данных как совокупность чисел;
- перевод каждого пикселя изображения в нулевые Доплеровские координаты, т. е. перпендикулярно к маршруту полета космического аппарата;
- отсутствие геопривязки;
- представление полной информации о фазе и ширине полосы частот.

Режим обработки MGD предоставляет данные, в которых координаты изображения вычислены вдоль направления полета и угла падения. Съемка осуществляется по нескольким сигналам. Изображение приводится к проекции на эллипсоиде WGS-84 и средней постоянной высоте рельефа. Результирующее изображение не имеет геопривязки, и отсутствует коррекция за влияние рельефа. MGD — это продукция с уменьшенной зернистостью и приблизительно квадратными ячейками разрешения. Шаг пикселя равно отстоит по азимуту и углу падения. Преимущество этих данных состоит в том, что разворот изображения в картографическую координатную систему не выполнен и поэтому нет интерполяционных артефактов. В результате



Рис. 5

Космический аппарат TerraSAR-X в сборочном цеху концерна EADS (рисунок предоставлен компанией Astrium GmbH)



Рис. 6

Режимы съемки спутником TerraSAR-X-1: а) SpotLight; б) StripMap; в) ScanSAR

точность местоположения пикселя хуже, чем в геопривязанной продукции. Прилагаются только координаты углов и центра изображения. MGD соответствует продукции радиолокационных спутников Европейского космического агентства ERS (PRI) и ENVISAT (ASA_IMP_1P).

Радиолокационные данные с уровнем обработки GEC имеют геопривязку, скорректированы на эллипсоид. Геометрическая коррекция получена по нескольким сигналам и имеет второй по точности уровень. Работа с продукцией GEC затруднена в горных районах. Существенные различия в точности могут появляться для сильно выраженного рельефа с крутыми склонами. Радиолокационное изображение приведено к геометрической проекции на эллипсоид WGS-84 с присвоением

одной средней высоты рельефа. Коррекция за влияние рельефа отсутствует. Используются стандартные проекции UTM/UPS. Точность местоположения пикселя зависит от рельефа. GEC соответствует продукции радиолокационных спутников ERS (GEC) и ENVISAT (ASA_IMG_1P).

Радиолокационные данные с уровнем обработки EEC предполагают улучшенную геопривязку, скорректированы на эллипсоид. В результате обработки данные приводятся к картографической проекции на эллипсоид WGS-84 с использованием цифровых моделей рельефа (ЦМР). Среди них такие глобальные ЦМР, как SRTM/X-SAR (30 м), SRTM/C-band (100 м), GLOBE (1 км) и региональная DTED-1/2 (100 м). Выходное изображение получается ортосправленным. Точность место-

положения пикселя может достигать метрового уровня, но зависит от качества ЦМР. EEC соответствует продукции радиолокационных спутников ERS (GTC) и ENVISAT (DLR).

Среди дополнительных услуг по обработке радиолокационных изображений, отдельный интерес может представлять слияние восходящих и нисходящих сцен. Радиолокационные тени обычно видны на изображениях и не всегда являются полезным атрибутом. Комбинация восходящих и нисходящих сцен на ту же территорию снижает эффекты наложения (перекрытия) радиолокационных теней в результирующем изображении.

Традиционными областями, где эффективно используются радиолокационные изображения, являются следующие: лесное хозяйство, мониторинг

Характеристики способов съемки с помощью радиолокационной системы КА TerraSAR-X-1

Таблица 3

Способ съемки	Максимальное разрешение, м	Стандартный размер сцены, км	Тип поляризации	Полный диапазон съемки (Θ_1 – Θ_2 , °)
High Resolution SpotLight HS	1	10x5	Простая (VV или HH) Двойная (HH и VV)	20–55
SpotLight SL	2	10x10	Простая (VV или HH) Двойная (HH и VV)	20–55
StripMap SM	3	30x50 15x50	Простая (VV или HH) Двойная (HH и VV, HH и HV или VV и VH)	20–45
ScanSAR SC	16	100x150	Простая (VV или HH)	20–45

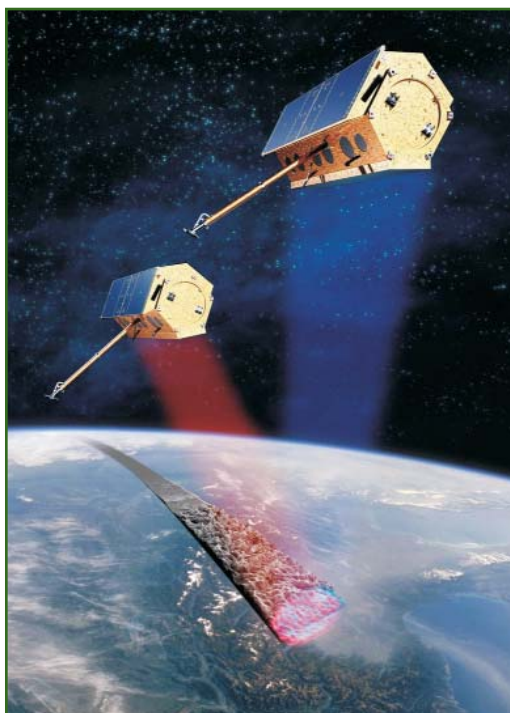
**Рис. 7**

Схема радиолокационной съемки в режиме TanDEM-X

урожайности сельскохозяйственных культур, экологический мониторинг загрязнения окружающей среды, топографическое и тематическое картографирование, метеорология, изучение океанских и речных течений, оценка качества воды, ущерб при ЧС, рыболовство, постоянный мониторинг арктических территорий, нефтегазовых месторождений, контроль ледовой обстановки, определения местоположений судов и др.

Использование интерферометрических измерений в радиолокационных технологиях позволяет решать различные задачи для множества базовых и новых приложений, таких как получение высокоточных ЦМР, выявление перемещений объектов, мониторинг приграничных территорий, нестабильных склонов, подвижки земной поверхности, проседание почвы при добыче нефти, газа и др. Интерферометрические измерения проводятся с использованием пар изображений на од-

ну и ту же территорию, полученных с разным положением радиолокатора.

В настоящее время для получения таких изображений используется одиннадцатидневный повторный цикл TerraSAR-X, когда космический аппарат оказывается на той же орбите. Для этих целей необходимы радиолокационные изображения с уровнем обработки SSC, чтобы была возможность работать с интенсивностью и фазой. Базис между двумя изображениями и качество интерферометрической фазы являются определяющими для точности результирующей цифровой модели местности (ЦММ). Извлекаемая ЦММ, в отличие от ЦМР, включает поверхность растительности.

Интерферометрические (INSAR) технологии могут использоваться только в случаях хорошей связи (схожести) между двумя изображениями. Интерферометрические технологии с одиннадцатидневным циклом не применимы для тропического климата. Период между съемками слишком продолжительный и связей (схожести) не достаточно для работы с интерферометрическими измерениями.

Решение этой задачи значительно упростится с появлением радиолокационной съемки в режиме TanDEM-X (рис. 7) после запуска второго космического аппарата TerraSAR-X, с которым познакомились участники конференции в сборочном цеху Спутникового интеграционного центра концерна EADS. Запуск этого КА планируется на конец 2009 г. В результате интерферометрические измерения будут проводиться по одиночному изображению с каждого КА, а совместная работа двух КА (TanDEM-X миссия) за три года позволит обеспечить глобальное покрытие земной поверх-

ности высокоточной ЦМР с расчетной точностью по высоте менее 2 м.

Производство КА TerraSAR-X и программное обеспечение для работы с радиолокационными изображениями можно приобрести в компании «Гео-Альянс». Специалисты компании готовы оказать консультации по выбору технических параметров съемки, способах ее проведения и необходимого уровня обработки радиолокационных изображений. Для эффективной работы с радиолокационными изображениями компания предлагает программное обеспечение Geomatica 10.1. (Канада). Комплекс задач, возникающих при работе с радиолокационными данными, может быть решен при помощи модулей этого ПО, таких как SAR Polarimetry Workstation, Radar DEM Extraction и Radar.

Организуются местные и выездные курсы по обучению работе с продукцией TerraSAR-X Services.



Тел: (495) 221-58-79

E-mail: info@geo-alliance.ru

Интернет: www.geo-alliance.ru

RESUME

There described features of acquiring terrestrial images with the space-based radar systems. The TerraSAR-X has been taken as an example of a spaceborne radar complex. There given the main characteristics of the TerraSAR-X radar images for four main processing levels. Possibility of creating a global digital terrain model with an accuracy of not least than two meters based on the radar data acquired in the TanDEM-X mode is marked.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГНСС ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ В СЛОЖНЫХ ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

К.А. Воробьев (ЗАО НПП «НАВГЕОКОМ»)

В 2006 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономогеодезия». После окончания университета работает в ЗАО НПП «НАВГЕОКОМ», в настоящее время — менеджер по продажам GPS-оборудования.

В настоящее время все больше внимания уделяется глобальным навигационным спутниковым системам (ГНСС или англ. GNSS — Global Navigation Satellite Systems), которые стали настолько известны и популярны, что уже сложно найти человека, который бы не был знаком с такими аббревиатурами, как GPS и ГЛОНАСС. Системы GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия) нашли применение в различных сферах деятельности человека, начиная с их использования в области туризма, речной и автомобильной навигации, и заканчивая масштабными исследованиями по уточнению формы, размеров и внешнего гравитационного поля Земли.

▼ Преимущества совместного использования спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС

Совместное использование этих систем стало неоспоримым преимуществом с появлением оборудования и программного обеспечения (ПО), предназначенных для измерения и обработки данных, получаемых с помощью технологии ГНСС.

В настоящее время система GPS состоит из 30 космических аппаратов (КА), пять из которых уже имеют возможность передавать новый сигнал L2C.

Полная группировка ГЛОНАСС должна составлять 24 КА. По данным Информационно-аналитического центра ЦНИИмаш от 12 февраля 2008 г. на орбите находилось 16 КА, из которых только 14 использовалось по целевому назначению. Обе системы постоянно модернизируются и обновляются. Несмотря на то, что система ГЛОНАСС пока еще развернута не полностью, ее достаточно активно используют в геодезии и навигации, а производители спутникового пользовательского оборудования добавляют возмож-

ность приема сигналов ГЛОНАСС.

Среди преимуществ совместного использования этих спутниковых систем следует отметить:

- возможность работы в условиях залесенной местности и городской застройки;
- сокращение времени определения точных координат;
- повышение надежности получаемых координат;
- проведение работ в северных широтах земного шара (в связи с тем, что спутников GPS в этих широтах бывает недостаточно).

▼ Технологические решения компании Trimble для работы с ГНСС

Компания Trimble Navigation (США), оценив потребности современного геодезического сообщества, разработала и выпустила достаточно широкий ассортимент оборудования ГНСС, которое дает возможность максимально эффективно использовать преимущества спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС. Эти технологические решения позволяют упростить сбор полевых спутниковых данных и их дальнейшую обработку в специализированном ПО.

Для выполнения работ в сложных полевых условиях, ре-



Рис. 1
Комплект оборудования Trimble R7 GNSS, установленный на исходной точке



Рис. 2

Комплект оборудования Trimble R7 GNSS для подвижного приемника с приемом поправок по радиоканалу

шения различных геодезических, проектно-изыскательных и земельно-кадастровых задач, геодезического обеспечения геофизических измерений на смену хорошо зарекомендовавшим себя спутниковым приемникам GPS Trimble 5700 приходят новые спутниковые приемники Trimble R7 GNSS. Приемник Trimble R7 GNSS имеет 72 канала, может принимать и обрабатывать сигналы модернизированной спутниковой системы GPS и ГЛОНАСС. Он обладает

встроенной функцией беспроводного соединения Bluetooth. Данная функция позволяет управлять приемником с помощью контроллера без кабеля, исключая возможность поломки разъемов, что повышает надежность, мобильность и удобство выполнения полевых работ. Trimble R7 GNSS разработан для использования в суровых погодных условиях. Широкий температурный диапазон (от -40°C до $+65^{\circ}\text{C}$), высокая пыле- и влагозащищенность прибора значительно расширяют области его применения.

В настоящее время спутниковое оборудование все больше используют для работы в режиме реального времени (RTK — Real Time Kinematic). Применение приемников ГНСС и современных технологий компании Trimble для работы в режиме RTK дает ощутимые преимущества. Приемник ГНСС, выполняющий роль базовой станции (рис. 1), устанавливается на точке с известными координатами и по каналам связи передает дифференциальные поправки. На подвижном приемнике ГНСС (рис. 2) устанавливается радиосвязь с базовой станцией, принимаются дифференциальные поправки и уточняется его местоположение. Благодаря такой технологии, непосредственно в поле можно определять пространственные координаты с сантиметровой точностью, проводить измерения и вынос объектов в натуру в режиме реального времени. В это же время на экране контроллера подвижного приемника отображаются результаты оценки точности получаемых координат. Это дает возможность полностью контролировать процесс съемки и находиться на снимаемой точке, пока не будет достигнута требуемая точность определения ее координат. Поправки можно передавать как по радиоканалу, так и по GSM-каналу.

Для выполнения работ в режиме RTK в качестве подвижной станции оптимально подходит спутниковый приемник Trimble R7 GNSS. Так как в нем уже имеется встроенный радиомодем, то использование дополнительных устройств не требуется (за исключением штыревой радиоантенны). Существует два наиболее распространенных способа использования такого приемника.

Первый вариант — для менее точных работ, когда антенна приемника и радиоантенна крепятся на рюкзак при помощи специальных приспособлений, а приемник и, при необходимости, внешнее питание убираются в рюкзак. Благодаря этому, в руках исполнителя остается только контроллер. Подобным образом работают при разбивке геофизических профилей, выполнении топографических съемок мелкого масштаба, выносе в натуру не очень четких контуров (например, границ лесных массивов или сельскохозяйственных угодий) и т. д.

Второй вариант предназначен для более точных работ. От первого он отличается тем, что в руках у исполнителя находится вежа, на которой закреплена антенна приемника и контроллер (рис. 2). Этот вариант целесообразно использовать при проведении топографических съемок крупного масштаба, съемке и выносе в натуру границ земельных участков и т. д.

Зачастую возникает необходимость проведения более точных работ или выполнения работ на территориях, где нет возможности выполнять измерения в режиме RTK. В этом случае дифференциальные поправки в результаты спутниковых измерений вносятся в режиме постобработки. Компания Trimble разработала программный комплекс Trimble Business Center для обработки данных ГНСС (рис. 3). Он позволяет об-

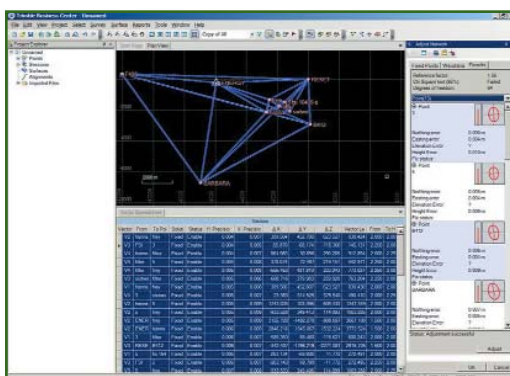


Рис. 3

Пример обработки спутниковых измерений ГНСС в ПО Trimble Business Center

рабатывать данные, получаемые от спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС. Более современный модуль обработки базовых линий ПО обеспечивает обработку данных большого объема в несколько раз быстрее. Современный интерфейс, расширенный функционал и русифицированное меню позволяют использовать программный комплекс Trimble Business Center для решения полного спектра задач пользователям технологий ГНСС и отвечает современным требованиям, предъявляемым к проведению топографо-геодезических работ с применением спутникового оборудования.

В связи с активным расширением GSM-покрытия на территории РФ актуальным становит-

ся использование GSM-каналов для работы в режиме реального времени. Главное преимущество технологии GSM RTK заключается в возможности ее работы в любом месте, где имеется GSM-покрытие, а также в отсутствии необходимости прямой видимости между приемниками и наличия специального разрешения на использование радио канала.

Компания НАВГЕОКОМ имеет собственное GSM RTK-решение в виде небольших модемов, которые можно применять практически с любым приемником компании Trimble. Для проведения работ в менее суровых условиях, с одиночными базовыми станциями или в сетях постоянно действующих базовых станций хорошо подходит удоб-

ная и практичная интегрированная система Trimble R8 GNSS. Ее особенностью является то, что антенна, модем и приемник объединены в одном корпусе.

Более подробно о приемнике R8 GNSS, а также о технологии GSM RTK можно будет узнать в следующих номерах журнала.

RESUME

Advantages are given for the joint usage of the GPS and GLONASS global navigation systems. Capabilities of the Trimble R7 GNSS satellite receiver are described, including its usability, versatility and attractive design which meet the severe requirements imposed on the modern geodetic equipment.

ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИХ РЕАЛИЗАЦИИ

Е.М. Медведев («ГеоЛИДАР»)

В 1986 г. окончил факультет автоматики и вычислительной техники Московского энергетического института по специальности «электронные вычислительные машины». После окончания института работал в ГосНИИ Авиационных систем, с 1997 г. — в ЗАО «Оптэн Лимитед», с 2002 г. — в Компании «Геокосмос». С 2005 г. по настоящее время — генеральный директор компании «ГеоЛИДАР». Одновременно является доцентом кафедры аэрокосмического мониторинга, картографии и геоинформатики Красноярского государственного аграрного университета. Кандидат технических наук.

Не могу согласиться с утверждением, что гиперспектральные технологии являются «...одним из наиболее значительных достижений, ..., в последние десятилетия...» [1]. Можно согласиться, что «значительное» и что «достижение», но нельзя согласиться, что «последних десятилетий» — на самом деле они появились гораздо раньше. Исключительно высокая практическая полезность этого вида дистанционного зондирования была осознана человечеством уже в 1960-х гг., т. е. полвека назад.

В 1986 г., вскоре после окончания Московского энергетического института, мне удалось ознакомиться с некоторыми монографиями, посвященными методам анализа спектрально распределенных данных авиационного и космического дистанционного зондирования в ряде прикладных областей. Это к тому, что уже к концу 1970-х гг. спектрозональное (многоспектральное) ДЗЗ являло собой вполне самостоятельную отрасль знания, с хорошо определенным предметом, методами и терминологией. Писались учебники, читались университетские курсы, выходили монографии.

Несколько слов о терминологии. Различные специалисты предпочитали использовать разные термины, и используют

их до сих пор. Можно услышать или прочитать о «спектрозональной» или «многозональной», а также о «многоспектральной» и «гиперспектральной» съемке, а, применительно к аналоговому аэрофотографированию, первые два термина также используются для обозначения пленки, соответственно, «спектрозональная пленка» и «многозональная пленка». Лично для меня до конца не понятны различия, которые стоят за этими терминами. Здесь сказывается отмеченное многими моими оппонентами отсутствие системного образования (так кажется им), либо действительно существует некоторая путаница (так кажется мне). Полагаю, однако, что этот вопрос имеет историческое значение, так как и пленочные аэрофотоаппараты и пленки, причем и спектрозональные и многозональные, и, вместе с ними, цветные, панхроматические и ортохроматические — это уже история или почти история [2]. В настоящее время аэрофотоаппараты все больше цифровые, и лучшие из них, такие как UltraCam-X (Microsoft Photogrammetry), обеспечивают получение изображений как в панхроматическом, так и в четырех спектральных каналах (трех традиционных видимого диапазона — красный, зеленый, голубой, и одного ближнего инфра-

красного). Это обстоятельство уже само по себе позволяет добиться многого для обеспечения качественного и достоверного дешифрирования. Например, весьма успешно эмулировать изображения, близкие по визуальным характеристикам традиционным советским двухслойным и трехслойным спектрозональным пленкам, таким как широко известные СН-6 или СН-6М. Преемственность в этом деле очень важна, ведь целое поколение опытных дешифровщиков, людей уже не совсем молодых и поэтому не желающих менять привычки, привыкло распознавать частично «обесхвоенный» сосняк по оранжевому тону фотоизображения, и почему, скажите, эти уважаемые люди должны переучиваться? Усилиями математиков и программистов компании «ГеоЛИДАР» цифровые аэрофотоснимки с аэрофотоаппарата UltraCam-D уже на стадии штатной обработки приводятся к виду, практически полностью эквивалентному классическому спектрозональному аэрофотоснимку (рис. 1). Более подробно о возможностях этих разработок будет изложено в следующих номерах журнала.

Чтобы больше не возвращаться к различию понятий, определяемых терминами «спектрозональный» и «многозональ-

ный», отметим, что до появления цифровых аэрофотоаппаратов и тех средств авиационного дистанционного зондирования, которые в настоящее время принято называть гиперспектральными сканерами, имелось два основных способа получения спектрально-распределенной информации о сцене наблюдения. Некоторые авторы привязывают тот или иной из упомянутых выше терминов к типам камер, реализующих один из этих способов. Рассмотрим их подробнее.

Первый тип камер подразумевает, что съемка ведется с помощью аэрофотоаппарата с традиционной оптической схемой с одним объективом и затвором, но на пленку, имеющую несколько фоточувствительных слоев с избирательными спектральными характеристиками. Для такой роли подойдет практически любой серьезный аэрофотоаппарат. Дело не в нем, а в пленке. Спектральные пленки дороже, сложнее в фотохимической обработке, менее устойчивы, и, главное, обеспечивают существенно худшую разрешающую способность.

Поэтому существует (вернее существовал, так как все это уже история) и второй тип камер, в которых многоспектральное изображение формируется, благодаря наличию специального аэрофотоаппарата, имеющего, скажем, четыре объектива, четыре синхронно срабаты-

вающих затвора, четыре пленкопротяжных механизма и т. д. Т. е. по сути это аппарат «четыре в одном», формирующий четыре аэрофотоснимка одной и той же сцены, каждый в определенной области спектра, используя оптические фильтры с соответствующими спектральными характеристиками. Мне известно, что в былые годы было создано несколько типов таких аэрофотоаппаратов, но запомнился только один, который официально именовался так: четырехзональный аэрофотоаппарат АС-707 с фокусным расстоянием $f = 140$ мм.

Это не просто экскурс в историю — по сути эти же два способа реализуют современные цифровые аэрофотоаппараты, хотя и с помощью принципиально иных технических решений получения изображения, каковой является технология светочувствительных ССД-приемников по отношению к фотопленке.

Если в качестве примера обратиться к номенклатуре оборудования, предлагаемого компанией «ГеоЛИДАР», то к камерам первого типа можно отнести среднеформатные камеры Rollei AIC 39 Мпикселей с приемниками Digital Bach (Phase One) и весьма близкие по своим пользовательским характеристикам камеры DigiCAM (IGI GmbH) с устройствами Digital Bach of Hasselblat, к камерам второго типа — UltraCam-X. Это утверж-

дение достаточно легко доказать.

Действительно, приемник в камерах Rollei AIC и IGI DigiCAM — это ССД-кристалл, с нанесенными на него тремя спектральными фильтрами. Ну, разве не видна аналогия с трехслойной спектрально-зональной пленкой? По моему, она очевидна. Указанные камеры реализуют «байеровский» принцип генерации цветного (спектрально-зонального) изображения, при котором каждый второй пиксель оказывается зеленого цвета, каждый четвертый — голубого или красного, а синтез полноцветного аэрофотоснимка осуществляется методом пространственной экстраполяции.

Аналогия с камерой UltraCam-X, AIC-707 и вообще со всеми аппаратами второго типа еще более очевидна. Фотографирование сцены выполняется одновременно в одном панхроматическом и четырех спектральных (красный, зеленый, голубой и ближний инфракрасный) каналах. В совокупности это позволяет получить высококачественные цветные или спектрально-зональные снимки. Некоторые полагают, что это недостаток, а мне кажется, что важное достоинство.

И в завершение затянувшегося исторического отступления несколько слов о терминах «многоспектральный» и «гиперспектральный», которые доминируют в среде современ-



Рис. 1

Цифровой аэрофотоснимок лесного массива, полученный с помощью цифрового аэрофотоаппарата UltraCam-D: а) цветное изображение в естественных цветах; б) то же изображение, эмулирующее спектрально-зональный аэрофотоснимок на двуслойную пленку СН-6М



Рис. 2
Гиперспектральный сканер
CASI-1500

ных российских специалистов по авиационному дистанционному зондированию, по той простой причине, что являются транскрипцией англоязычных терминов «multispectral» и «hyperspectral». Термины устоялись, и, как бы мне это ни нравилось, теперь я должен разъяснять различие понятий, которые за этими терминами скры-

ваются. Итак, мы говорим о «многоспектральных» средствах дистанционного зондирования, когда имеет место несколько спектральных каналов, может быть два, может быть три-четыре, но в любом случае больше одного.

Гиперспектральные аэросъемочные системы — это десятки и даже сотни каналов. Так, например, в гиперспектральном сканере CASI-1500 (ITRES Ltd., Канада) их более 250 (рис. 2). Кстати, CASI — Compact Airborne Spectral Imager, по мнению автора статьи, переводится как «компактный авиационный генератор спектральных изображений». Цифра 1500 означает количество пространственных элементов в линейном CCD-приемнике. CASI-1500 — это наиболее известный и распространенный прибор последнего десятилетия в своем классе, образец технического совершенства,

другими примерами которого является самолет DC-3 или компьютер IBM-360.

▼ Список литературы

1. А.В. Абросимов, А.С. Черепанов. Обработка гиперспектральных изображений в ПК ENVI // Геопрофи. — 2007. — № 2. — С. 55–57.
2. Е.М. Медведев. О будущем цифровой аэрофототопографии в России // Геопрофи. — 2006. — №1–5.

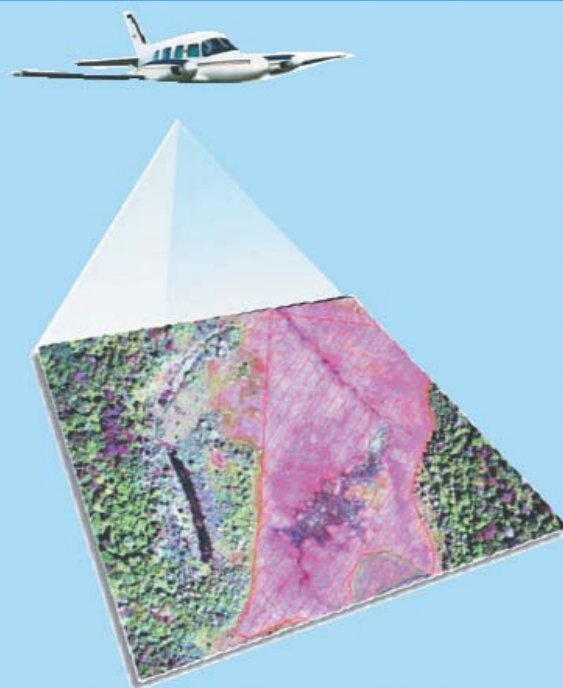
Продолжение следует

RESUME

This is the first article of the series dedicated to the aerial surveying hyperspectral techniques, targeted instrumentation and software for the hyperspectral imagery processing. A brief description is given for the principles of acquiring the spectrally distributed data, terms used and digital aerial photoimaging cameras for obtaining these hyperspectral images.

ГЕОЛИДАР®

СОВРЕМЕННЫЕ ЦИФРОВЫЕ АЭРОСЪЕМОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ



ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫЕ СКАНЕРЫ ITRES –
МНОГОМЕРНЫЙ ВЗГЛЯД НА МИР

Компания «Геолидар» имеет эксклюзивные права на поставку гиперспектральных авиационных сканеров компании ITRES Ltd, работающих в основных спектральных диапазонах.

Сканеры CASI-550, CASI-1500 (диапазон VNIR). Имеют 288 спектральных полос, 550 и 1500 пространственных пикселей-соответственно. Сканер SASI – 600 (диапазон SWIR), 100 спектральных полос, 600 пространственных пикселей. Сканеры TABI-320, TASI-600 (диапазон TIR), одна и 64 спектральные полосы, 320 и 600 пространственных пикселей – соответственно.

Используются для:

- оценки качества воды, картирования типов почв и растительности
- идентификации геологических структур и типов минералов
- обнаружения мин, снарядов и объектов военного назначения
- выявления и локализации дефектов нефте- и газопроводов
- анализа биохимического состава атмосферы
- экологических исследований
- выявления утечек тепла (дома, теплотрассы...)
- картирования подземных объектов и др.

itres

115035, Россия, Москва Софийская наб., д. 30, стр. 3
Тел.: +7 (495) 953-01-00 Факс: +7 (495) 953-04-70
E-mail: info@geolidar.ru <http://www.geolidar.ru>

О ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА ДЛЯ АТТЕСТАЦИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИЕМНИКОВ ГНСС

Г.А. Шануров (МИИГАиК)

В 1971 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономогеодезия». После окончания института работал в отделе инженерных изысканий 20-го ЦПИ МО РФ. С 1975 г. работает в МИИГАиК, в настоящее время — профессор кафедры высшей геодезии. Профессор геодезического факультета Мадридского политехнического университета, член Международной ассоциации геодезии (IAG).

Данная статья имеет практическую направленность, а теоретические основы предлагаемого метода изложены автором и его соавторами в [1]. Выполнение геодезических работ возможно, если геодезические приемники глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) в совокупности с их программным обеспечением подвергнуты метрологической аттестации. Фирмы - производители не могут продавать геодезическое оборудование, в том числе приемники ГНСС, без сертификата о прохождении метрологической аттестации. Организации, выполняющие геодезические, топографические, кадастровые и иные работы в области геодезии, не имеют права пользоваться несертифицированной аппаратурой и не могут сдать (продать) результаты работ (окончательную продукцию) заказчику, не предъявив документы о метрологической аттестации (сертификации) использованных в работе приборов. Следовательно, метрологическое обеспечение является одним из ключевых моментов при осуществлении геодезической деятельности. Это понимают все специалисты. Созданы и вновь создаются метрологичес-

кие полигоны. Для полноты и логичности приведем еще несколько известных фактов, а затем рассмотрим суть разработок.

С помощью приемников ГНСС выполняется значительный объем геодезических измерений, который, по данным авторитетных специалистов, в среднем, на больших объектах составляет около 70% от общего объема геодезических работ. Причиной являются многочисленные и известные профессионалам достоинства метода спутниковых измерений, основа которых заключается в том, что получают именно разности координат, а затем сразу координаты пунктов и объектов. Но это является и проблемой спутникового метода, применительно к метрологическому обеспечению. Невозможно задать эталонные (образцовые) значения координат пункта и/или разностей координат пунктов. Эти величины являются условными, поскольку связаны с условно принятой системой координат. Разумеется, автор не является первооткрывателем данного обстоятельства. Одним из первых возможных подходов к решению данной проблемы изложил Л.С. Юношев [2]. Для создания

и поддержания геодезической сети метрологического полигона он предложил регулярно повторять измерения в сети с использованием комплекта наиболее совершенной в настоящее время спутниковой аппаратуры. Возможно, что такой подход и будет принят официально.

Метрологическую аттестацию геодезической аппаратуры, в том числе геодезических приемников ГНСС, осуществляют на основе результатов измерений, выполненных этой аппаратурой на пунктах образцовой (стандартной) геодезической сети метрологического полигона. В идеале такая сеть представляет собой набор стандартных базисов. Наиболее точные светодальномеры позволяют измерять линии в несколько километров, с ошибкой, лежащей в пределах одной десятой миллиметра. Такая ошибка на порядок меньше той, с которой определяют длины сторон, используя геодезическую спутниковую аппаратуру. Поэтому метрологический полигон с полным основанием можно считать образцовым (стандартным) для геодезических приемников ГНСС. Необходимо определить с заданной точностью и отметки

(высоты) пунктов этой сети в соответствующей системе высот. При корректном подходе — это сложная, но решаемая задача, выходящая за рамки данной статьи. Здесь и далее будем считать, что мы рассматриваем плановую сеть, что в равнинных районах недалеко от действительности.

Возникает три взаимосвязанных вопроса. Какова рациональная геометрия геодезической сети метрологического полигона? По каким параметрам оценивать результаты работы геодезической спутниковой аппаратуры? Каковы научная и практическая основы методики метрологической аттестации геодезической спутниковой аппаратуры и ее программного обеспечения? Попытаемся дать ответ на часть этих вопросов, предложив читателям задуматься, а профессионалам — принять участие в дискуссии.

В соответствии с существующей процедурой метрологической аттестации, результаты спутниковых определений сравнивают с длинами базисов, входящих в геодезическую сеть метрологического полигона. Это правильно, поскольку длины баз инвариантны относительно системы координат. Такой подход позволяет оценить ошибку, с которой результаты спутниковых измерений воспроизводят масштаб геодезической сети метрологического полигона. Однако, в дополнение к этому, существует необходимость оценить ошибки, с которыми комплект геодезической аппаратуры ГНСС воспроизводит ориентировку и, вообще, конфигурацию образцовой геодезической сети метрологического полигона. Другими словами, метрологическую аттестацию комплекта спутниковых приемников в совокупности с их программным обеспечением целесообразно проводить, оценив возможность этого ком-

плекса воспроизвести (повторить) геометрическую структуру геодезической сети метрологического полигона.

Существует практически целесообразная геометрическая структура геодезической сети метрологического полигона. В центре сети должен быть расположен надежно закрепленный пункт с номером 1, на котором имеется приспособление для принудительного центрирования. Организация, которой принадлежит метрологический полигон, устанавливает на этом пункте постоянно действующий базовый (референчный) спутниковый приемник (антенну базового приемника). Таким образом, пункт 1 включают в национальную опорную геодезическую сеть. На период метрологической аттестации на пункте 1 устанавливают базовый геодезический приемник ГНСС (его антенну) из аттестуемого комплекта. Остальные пункты сети располагают на территории полигона, в том числе на границе полигона и даже за ее пределами, получив на это официальное разрешение.

В подавляющем большинстве случаев, выполняя геодезические работы на локальных участках, например, создавая или совершенствуя геодезическую сеть на территории города и его окрестностей, такую сеть рассматривают как преимущественно плановую. Вопросы с высотами пунктов решают отдельно. Поэтому, как это сказано в начале статьи, сконцентрируем внимание именно на практической стороне проблемы. Будем обсуждать (оценивать) в качестве метрологической характеристики комплекта геодезической аппаратуры ГНСС ее способность в совокупности с программным обеспечением воспроизводить элементы именно двухмерного (плоского, планового) трансформирова-

ния. Это вполне рационально для локального метрологического полигона размером в несколько десятков километров.

Двухмерное трансформирование (преобразование) вектора базы, соединяющей два пункта геодезической сети из второй системы координат «В» в первую «П», основано на формуле:

$$\begin{pmatrix} 1 & W_n \\ -W_n & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix}^П + \begin{pmatrix} \delta x \\ \delta y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix}^В + \vec{V}, \quad (1)$$

где Δx и Δy — разности образцовых и, полученных в эпоху сертификации, плановых координат пунктов сети;

W_n — угол вращения вокруг вертикальной для данного метрологического полигона оси координат;

δx и δy — параллельные сдвиги осей координат;

$\vec{V}$ — вектор остаточных поправок, получаемый после уравнивания результатов измерений по способу наименьших квадратов.

В этом случае используется локальная декартова система координат. Начало этой системы совпадает с центральным пунктом 1, ось H направлена в зенит этого пункта, ось x — на север, ось y — на восток. В эту формулу можно было бы включить масштабный коэффициент $(1 + m)$, где m — малая величина порядка 10^{-6} – 10^{-7} , вызванная различием масштабов сети, созданной высокоточным светодальномером (образцовой сети) и тестируемым комплектом приемников ГНСС. Величину m можно определить до трансформирования по формуле (1). В формуле (1) неизвестными являются параметры трансформирования W_n , δx , δy . Система параметрических уравнений для каждой двухмерной базы

геодезической сети D имеет вид:

$$A \begin{pmatrix} w_n \\ \delta x \\ \delta y \end{pmatrix} - (D^B - D^n) = V, \quad (2)$$

$$\text{где } A = \begin{pmatrix} y & 1 & 0 \\ -x & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

w_n — угол, выраженный в радианах;

V — вектор остаточных поправок, получаемый после трансформирования и уравнивания.

Матрица коэффициентов системы нормальных уравнений N имеет вид:

$$N = \begin{pmatrix} [D^2] & [y] & -[x] \\ \dots & k & 0 \\ \dots & \dots & k \end{pmatrix}; \quad (3)$$

где k — число сторон в геодезической сети метрологического полигона. Квадратные скобки здесь и далее, как принято со времен Гаусса, означают суммирование.

В работе [1] получены формулы для весов неизвестных параметров трансформирования:

$$\begin{aligned} P_{w_n} &= kD^2m - \\ &- ([x]^2 + [y]^2)/k; \\ P_{\delta x} &= k - \\ &- k[y]^2/(k^2D^2m - [x]^2); \\ P_{\delta y} &= k - \\ &- k[x]^2/(k^2D^2m - [y]^2), \end{aligned} \quad (4)$$

где Dm — средняя геометрическая длина радиально расположенных сторон этой геодезической сети.

Анализируя формулы (4), можно понять, что веса неизвестных параметров трансформирования возрастают при следующих условиях. Число сторон сети k и средняя геометрическая длина сторон этой геодезической сети Dm должны быть возможно большими. И, в дополнение к этому, при проектировании структуры геодезической сети метрологического полигона должно выполняться следующее геометрическое условие:

$$[x] = [y] = 0. \quad (5)$$

Это условие выполняется, если базы (стороны) сети расположены симметрично относительно центрального пункта 1. Например, пункт 2 расположен на открытой местности, к северу от пункта 1. Расстояние от пункта 1 до пункта 2 составляет 10 км, и между ними имеется прямая видимость, позволяющая выполнять измерения высокоточным светодальномером. Тогда пункт 2' необходимо расположить к югу от центрального пункта 1, на том же расстоянии в 10 км и при тех же условиях видимости небосклона на пункте 2' и взаимной видимости между пунктами 1 и 2'. Пункт 3 может быть расположен к востоку от пункта 1, на том же расстоянии в 10 км, а пункт 3' — к западу. В таком случае геометрическая структура геодезической сети метрологического полигона имеет форму креста, симметричного относительно центра этого креста. Такого рода структуру уже давно используют для решения задач радиоастрономии, а синфазированный таким образом радиointерферометр называют крестом Миллса [3] (т. е. колебания, принятые каждой антенной, приходят на приемник-радиометр в одной и той же фазе). Не обязательно, чтобы базы 2,1,2' и 3,1,3' были равны по длине и перпендикулярны. Важно, чтобы каждая база была симметрична относительно центрального пункта 1. Геодезическая сеть метрологического полигона при соблюдении этих условий может содержать и большее количество баз, длиной от сотен метров до десятков километров, в зависимости от условий видимости. Притом требуется уделять особое внимание проектированию и рекогносцировке сети, закреплению и защите пунктов, особенно, расположенных на периферии геодезической сети, от вандалов.

Один специалист не способен создать систему метрологической сертификации геодезической спутниковой аппаратуры. В лучшем случае, он только может высказать предварительные соображения по этой обширной совокупности вопросов. Таким образом, автор данной статьи осмеливается пригласить профессионалов к дискуссии в рамках журнала «Геопрофи», от результатов которой зависит, будут ли приняты его предложения вообще и в какой мере. В любом случае, создать строгую официальную методику аттестации геодезической аппаратуры ГНСС в совокупности с ее программным обеспечением действительно необходимо.

▼ Список литературы

1. Шануров Г.А., Мельников С.Р., Лопес-Кьерво С., Месква Х., Роблес Х. Геометрия спутниковых наблюдений при создании метрологического полигона // Геодезия и картография. — 2001. — № 7. — С. 7–14.
2. Юношев Л.С. Метрологическое обеспечение космических навигационных систем // Ежегодный обзор ГИС-Ассоциации, 1998.
3. Ramsey J.L., Bracewell R.N. Radio astronomy. — Oxford, 1955. — p. 414.

RESUME

Any geodetic satellite receivers set and its programme support set is to be properly certificated at standard metrological polygon. The polygon geodetic network baselines are to be measured by means of precise ground-based laser range-finder with an error of about 0,1 millimeter. The accuracy of the satellite receivers set and its programme support set is to be evaluated by its possibility to reproduce the standard geodetic network. If the network design is symmetrical relative to the standard network central point, the weights of the two-dimensional transformation parameters become as large as possible increasing with the distances between the central geodetic standard network point and marginal points.