ПРИМЕНЕНИЕ СЕТИ РЕФЕРЕНЦНЫХ СТАНЦИЙ ГНСС ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ И ЦИФРОВОЙ АЭРОФОТОСЪЕМКИ

В.А. Брусило («ИнжГеоГИС», Краснодар)

В 2005 г. окончил географический факультет Кубанского государственного университета по специальности «прикладная информатика в географии», в настоящее время — аспирант кафедры геоинформатики. С 2003 г. работал в Экспедиции 205 ФГУП «Северо-Кавказкое АГП». С 2006 г. работает в ООО «ИнжГеоГИС», в настоящее время — начальник аэрогеодезического отдела.

С.В. Погорельцев («ИнжГеоГИС», Краснодар)

В 2006 г. окончил факультет автомобильно-дорожных и кадастровых систем Кубанского государственного технологического университета по специальности «городской кадастр», в 2008 г. — факультет дополнительного образования (кафедра производственного и регионального менеджмента). С 2006 г. работает в ООО «ИнжГеоГИС», в настоящее время — руководитель группы геодезического обеспечения аэрогеодезического отдела.

С 2006 г. в ООО «ИнжГеоГИС» совместно с ЗАО «НИПИ «ИнжГео» применяются технологии воздушного лазерного сканирования и цифровой аэрофотосъемки для целей инженерных изысканий. За это время компанией был выполнен значительный объем изыскательских работ.

В июле 2007 г. компания «ИнжГеоГИС» приобрела комплекс дистанционного мониторинга земной поверхности компании Leica Geosystems (Швейцария) — воздушный лазерный сканер ALS50-II и цифровую аэрофотокамеру RCD105. В октябре 2007 г. группа специалистов по аэрофотосъемке выполнила работы по воздушному лазерному сканированию (ВЛС) и цифровой аэрофотосъемке (АФС) на территории Московской области для последующего создания топографических карт масштаба 1:10 000 и обоснования инвестиций в реконструкцию кольцевого газопровода Московской области. Строительство первой очереди данного магистрального газопровода было начато еще в 1960-х гг. Суммарная протяженность реконструируемого участка газопровода составила около 550 км.

Как правило, полевая часть работ по ВЛС и АФС делится на основные этапы:

— закладку и определение координат опорных пунктов для геодезического сопровождения ВЛС и АФС;

— закладку и определение координат опознавательных знаков для проведения контроля точности ВЛС и АФС;

— наземное геодезическое сопровождение ВЛС и АФС с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС);

— проведение аэросъемки и воздушного лазерного сканирования.

При планировании работ на объекте были учтены следующие факторы:

— сжатые сроки проведения работ;

— протяженность и форма границ объекта;

— сложная аэронавигационная обстановка (5 крупных аэропортов и сеть аэропортов малой авиации), наличие зон, запрещенных для полетов, и дифференцированных высотных коридоров, трудности с арендой воздушных судов, пригодных для проведения ВЛС и АФС;

— погодные условия, характерные для осеннего периода данной территории: частая облачность и периодические осадки;

— перепад высот рельефа на объекте до 200 м;

— наличие в районе проведения работ постоянно действующих базовых (референцных) станций ГНСС (ГЛОНАСС и GPS) Центра спутниковых технологий (ЦСТ) ФГУП «Госземкадастрсъемка» — ВИСХАГИ и НПП «НАВГЕОКОМ».

На борту воздушного судна, выполняющего аэросъемочные

работы, совместно с воздушным лазерным сканером ALS50-II и цифровой аэрофотокамерой RCD105 с разрешением 39 Мпикселей используется инерциальная система в комплексе со спутниковым двухчастотным приемником GPS OEM4 (NovAtel, Канада) с частотой регистрации измерений 2 Гц (2 измерения в секунду). Для коррекции траекторий полета воздушного судна при проведении ВЛС и АФС, определяемых с помощью спутникового приемника GPS, необходимым условием является наличие наземного геодезического сопровождения, включающего выполнение спутниковых измерений на одной или нескольких базовых станциях GPS, располагаемых в районе работ. По технологии, разработанной компанией Leica Geosystems, рекомендуется, чтобы расстояние от воздушного судна до ближайшей одиночной наземной базовой станций GPS не превышало 30 км.

На снимаемом объекте этому условию удовлетворяла сеть постоянно действующих базовых станций ГНСС точного позиционирования Москвы и Московской области (проект «Москва») ЦСТ «Госземкадастрсъемка» — ВИСХАГИ. Использование данных этой сети позволяло упростить несколько видов работ, значительно сократить сроки геодезического обеспечения ВЛС и АФС, и, соответственно, уменьшить затраты на производственный процесс. Поэтому было признано обоснованным и целесообразным использовать данные сети базовых станций GPS ЦСТ «Госземкадастрсъемка» — ВИСХАГИ при геодезическом сопровождении аэросъемки и воздушного лазерного сканирования.

Спутниковая система точного позиционирования Москвы и Московской области включает сеть из 22 пунктов с постоянно действующими станциями GPS, образующими жесткий геодезический каркас (рис. 1).

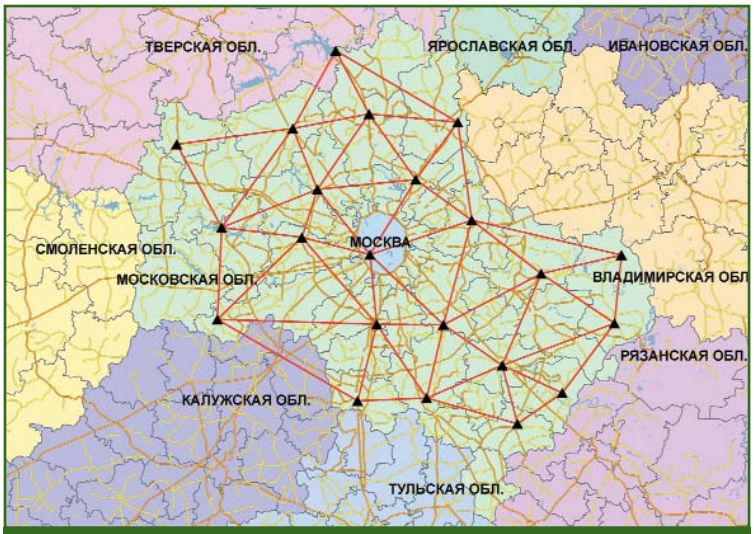

Рис. 1
Схема сети пунктов спутниковой системы точного позиционирования Москвы и Московской области

В проекте «Москва» в качестве постоянно действующих базовых станций использованы двухчастотные спутниковые приемники GPS Leica RS500 с частотой регистрации измерений 1 Гц.

Данная сеть прошла сертификацию в Госстандарте России и соответствует следующим требованиям:

— средняя квадратическая погрешность взаимного положения пунктов сети не более 1 см;

— средняя квадратическая погрешность геодезической привязки пунктов сети к международной земной отсчетной основе ITRF не более 2 см;

— средняя квадратическая погрешность результата измерения координат точек на территории Москвы и Московской области с использованием измерительной информации сети постоянно действующих базовых станций в режиме постобработки не более 1 см.

В ходе выполнения проекта в ЦСТ «Госземкадастрсъемка» — ВИСХАГИ обрабатывались два набора измерений:

— статические: спутниковые измерения пространственных координат опознавательных знаков;

— кинематические: спутниковые измерения траекторий полета воздушного судна во время выполнения ВЛС и АФС.

Вычисление пространственных координат опознавательных знаков (рис. 2) выполнялось сотрудниками Центра спутниковых технологий с помощью программного обеспечения SkiPro. Координаты вычислялись в МСК-50, а высоты — в Балтийской системе высот 1977 г. Средняя квадратическая погрешность положения опознавательных знаков в плане составила 3 см, а по высоте — 6 см.

Общая площадь воздушного лазерного сканирования и цифровой аэрофотосъемки по объекту составила 1275 км^2, время в полете — 38,5 часов (из них 25 часов непосредственно аэросъемки), а суммарная длина проходов — 1721 км.

С учетом времени развертывания и ликвидации полевая часть работ по воздушному лазерному сканированию и цифровой аэрофотосъемке заняла 15 дней.

При проведении аэросъемочных работ удаление воздушного судна от пунктов сети базовых станций не превышало рекомендуемого значения в 30 км (табл. 1, рис. 3).

Обработка траекторий полета воздушного судна проводилась

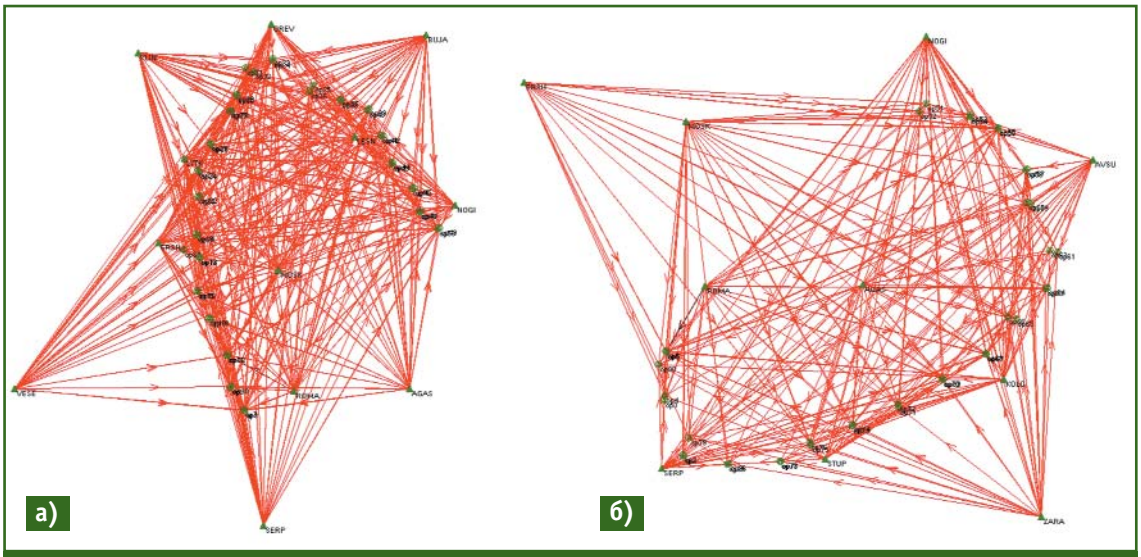

Рис. 2
Схема геодезической сети опознавательных знаков: а) северная часть; б) южная часть

сотрудником компании «ИнжГеоГИС» на территории Центра спутниковых технологий. Коррекция траектории полета выполнялась с использованием результатов измерений спутниковыми приемниками на пунктах сети постоянно действующих станций GPS в программном комплексе GrafNav7.80 (Waypoint Group).

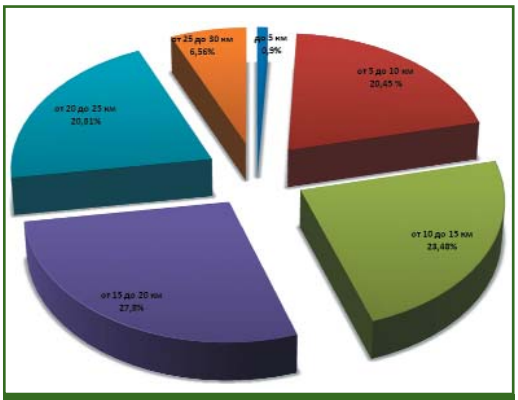

Рис. 3
Диаграмма распределения удаления траекторий воздушного судна от пунктов сети базовых станций ЦСТ «Госземкадастрсъемка» — ВИСХАГИ

Графики качества определения траекторий движения воздушного судна по данным спутниковых измерений при выполнении аэросъемки и лазерного сканирования приведены на рис. 4.

Средняя точность определения траекторий полета воздушного судна при проведении ВЛС и АФС составила 10 см (Estimated Position Accuracy). При расчете траекторий были использованы измерения с 17 постоянно действующих базовых станций ЦСТ «Госземкадастрсъемка» — ВИСХАГИ. Высота полета воздушного судна при аэросъемке цифровой аэрофотокамерой RCD105, имеющей объектив с фокусным расстоянием 35 мм, и лазерном сканировании системой ALS50-II находилась в диапазоне от 400 до 900 м. Параметры и расчетная точность ВЛС и АФС представлены в табл. 2 и 3.

Результаты выполненного проекта позволяют выделить следующие преимущества применения сети постоянно действующих базовых станций ГНСС при проведении аэросъемочных работ и воздушного лазерного сканирования.

Из полевых работ на объекте были исключены следующие этапы:

— закладка и определение пространственных координат временных опорных пунктов для геодезического сопровождения ВЛС и АФС;

— наземное геодезическое сопровождение ВЛС и АФС, включающее спутниковые измерения бригадой геодезистов на базовых станциях ГНСС (временных опорных пунктах), было заменено данными с пунктов сети постоянно действующих станций GPS ЦСТ «Госземкадастрсъемка» — ВИСХАГИ.

Сроки на проведение комплекса геодезических работ на объекте сокращены на 20 дней за счет исключения процессов закладки

Протяженность траекторий полета воздушного судна и их удаление от пунктов сети базовых станций ЦСТ «Госземкадастрсъемка» — ВИСХАГИ — **Таблица 1**

Удаление траекторий от пунктов сети базовых станций, км	До 5	От 5 до 10	От 10 до 15	От 15 до 20	От 20 до 25	От 25 до 30
Суммарная длина траекторий, км	15,5	352,0	404,14	478,52	358,32	112,94

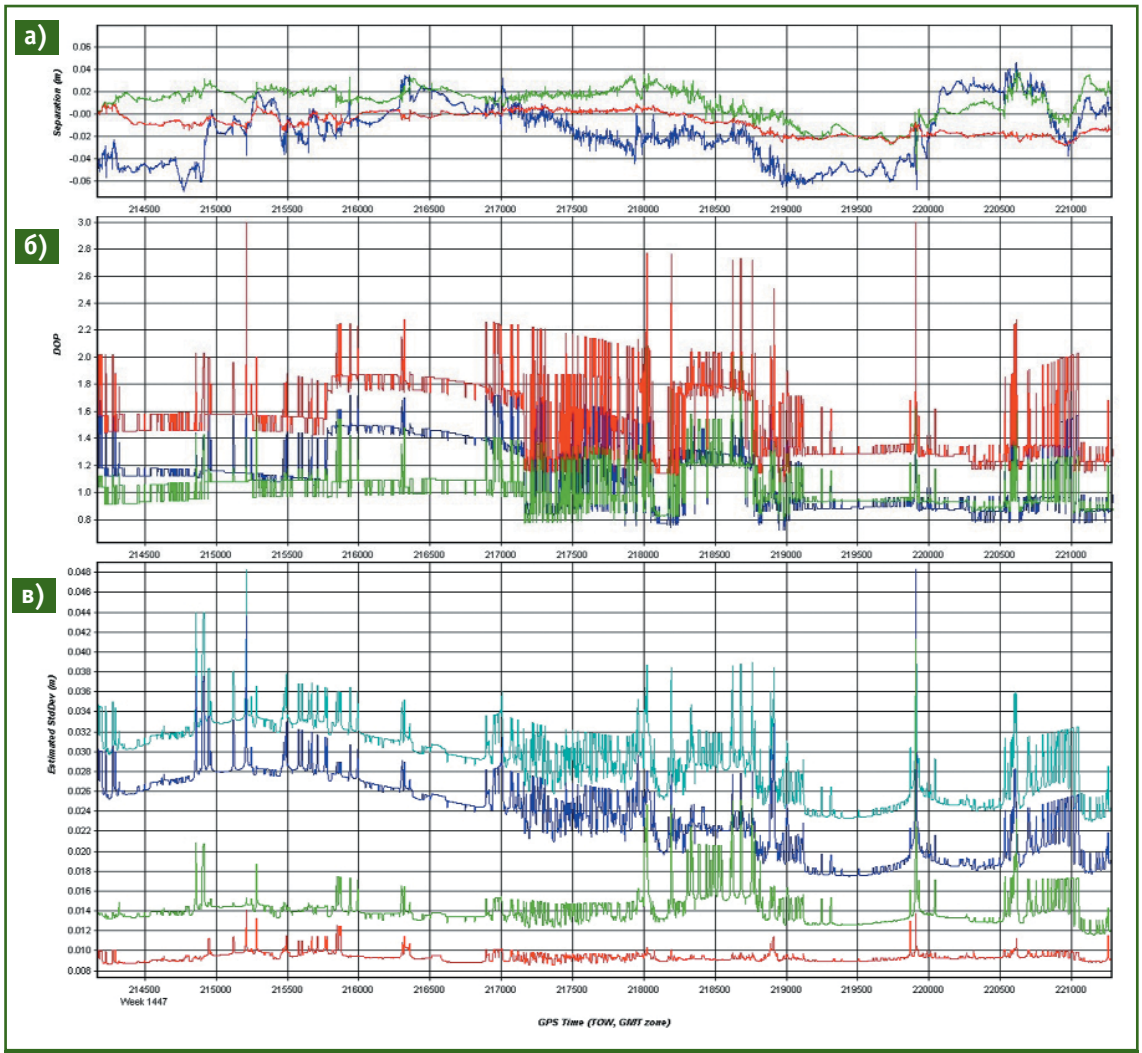

Рис. 4
Графики качества определения траектории полета воздушного судна по данным спутниковых измерений: а) значения разницы между прямым и обратным решением по осям x, y, z (м); б) значения факторов снижения точности PDOP, VDOP, HDOP; в) распределение значений стандартного отклонения — результирующее и по осям z, x, y (м)

временных пунктов и измерений на них, а также за счет упрощения этапа определения координат опознавательных знаков.

Отсутствие зависимости ВЛС и АФС от наземного геодезического сопровождения позволило при введении режима запрета на полеты в зонах съемки проводить аэросъемочные работы в любом другом удобном для работы районе, без учета наличия

Параметры и расчетная точность воздушного лазерного сканирования с помощью системы ALS50-II — **Таблица 2**

Высота полета, м	Угол раскрытия сканера,°	Частота импульсов сканера, Гц	Ширина ТЛО, м	Плотность ТЛО, количество ТЛО/м²		Точность, м	
				Средняя	Надир	В плане	По высоте
400	68	150 000	487	8,31	5,66	0,10	0,09
500	68	139 000	616	6,16	4,25	0,12	0,09
600	68	125 100	747	4,62	3,21	0,14	0,10
700	68	113 700	877	3,60	2,52	0,17	0,11
800	68	104 200	1006	2,89	2,03	0,19	0,11
900	68	94 700	1136	2,33	1,64	0,21	0,12

Примечание. ТЛО — точка лазерного отражения.

Параметры и расчетная точность цифровой аэрофотосъемки с помощью камеры RCD105 — **Таблица 3**

Высота полета, м	Частота кадров, с/кадр	Ширина фото, м	Размер, пиксель/м	Ширина между проходами, м
400	4,77	506	0,08	303,6
500	6,04	641	0,1	384,6
600	7,31	776	0,12	465,6
700	8,58	911	0,14	546,6
800	9,86	1046	0,16	627,6
900	11,3	1181	0,18	708,6

там бригады наземного геодезического обеспечения. Это значительно уменьшило фактическое время на выполнение ВЛС и АФС.

Центр спутниковых технологий «Госземкадастрсъемка» — ВИСХАГИ предоставил большой набор геодезических систем отсчета для окончательной обработки результатов измерений: WGS–84, СК–95, СК–42, СК–63, МГГС, МСК–50. Результаты обработки спутниковых измерений по объекту были предоставлены ЦСТ в местной системе МСК–50, поэтому не требовали промежуточного пересчета в геодезические системы, имеющие определенные режимные ограничения, СК–95 или СК–42, что значительно упростило работу.

Применение сети постоянно действующих базовых станций ЦСТ «Госземкадастрсъемка» — ВИСХАГИ позволило уменьшить затраты на выполнение работ по геодезическому сопровождению ВЛС и АФС в 5,2 раза.

Подводя итог, следует отметить, что первый опыт использования услуг сетей постоянно действующих базовых станций в районе выполнения аэросъемочных работ и воздушного лазерного сканирования для ООО «ИнжГеоГИС» был положительным. Качество выполненных работ соответствует требованиям нормативной документации. В дальнейшем, при проведении геодезических работ на данной территории, в первую очередь, будет рассматриваться возможность использования спутниковой системы точного позиционирования Москвы и Московской области ЦСТ «Госземкадастрсъемка» — ВИСХАГИ.

RESUME

An experience of using the reference (continuously operating base) GPS station network of the Satellite Technologies Center «Goszemkadastrs'emka» – VISKhAGI for both aerial laser scanning and digital photosurveying the gas-main in the Moscow region is analyzed. The reference station network has made it possible to simplify data processing due to applying the local coordinate system MSK-50, as well as to shorten work duration by 20 days and to reduce cost 5,2 times.