ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИС КОНСТРУКТОРА «ОРТОФОТОПЛАН» ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ РАБОТ

В.Н. Колесников (ЦКМ)

В 1974 г. окончил Московский институт инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии по специальности «космическая геодезия», затем работал в 29 НИИ МО РФ. С 2001 г. — главный специалист ЗАО «ЦКМ».

С.Н. Прощаев (ЦКМ)

В 1999 г. окончил Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК) по специальности «исследование природных ресурсов», затем учился в аспирантуре МИИГАиК. С 2001 г. — ведущий программист ЗАО «ЦКМ».

Стремительное развитие вычислительной техники создало условия для быстрого завершения рядом организаций работ по созданию цифровых фотограмметрических комплексов (ЦФК). В настоящее время в России существуют разработки, практически не уступающие зарубежным по функциональным возможностям, но значительно дешевле их.

В 2001 г. ЗАО «ЦКМ» на базе программного продукта ГИС Конструктор GK32 были начаты разработки пакета фотограмметрических программ, обеспечивающих формирование по растровым изображениям местности матриц рельефа, ортофотопланов и нанесение горизонталей, т. е. информации, необходимой для создания и обновления топографических карт и планов.

Необходимо отметить, что в России в течение XX века сложилась одна из сильнейших в мире фотограмметрических школ, и когда появилась соответствующая электронная техника, в том числе высокоточные сканирующие устройства, начались разработки ЦФК в государственных и частных организациях. Причем часть разработок была успешно выполнена специалистами, которые не имели фотограмметрического образования, что говорит о высоком потенциале отечественной высшей школы. Отставание российских разработок от зарубежных вызвано, прежде всего, отсутствием финансирования и соответствующей поддержки со стороны государственных структур.

Цифровые фотограмметрические комплексы, разработанные в России, в отличие от зарубежных, являются только программным продуктом, не требующим дополнительного оборудования, кроме компьютера.

Фотограмметрический комплекс ЗАО «ЦКМ» включает стандартный для ЦФК набор модулей, позволяющих выполнять:

— построение пространственной фототриангуляции;

— автоматическую оцифровку рельефа;

— создание регулярной матрицы высот;

— создание ортофотопланов в цифровом и аналоговом видах;

— построение трехмерных моделей рельефа местности и нанесение горизонталей.

Фундаментом технологии является пространственная **фототриангуляция**, при построении которой создается высокоточная математическая модель местности на район выполнения работ. Программный модуль фототриангуляции выполняет:

— ввод и визуализацию схем района и накидного монтажа;

— создание аналитической модели связи растровой системы координат и системы координат снимков (средства измерения координатных меток или крестов);

— измерение координат точек снимков, опознавание и измерение опорных точек;

— уравнивание части или всего проекта.

Программных ограничений на количество снимков и маршрутов практически не существует, все зависит от технических характеристик компьютера.

Уравнивание выполняется в соответствии с методом связок, используя имеющуюся информацию при условии минимума суммы квадратов разностей между измеренными и вычисленными координатами точки на снимке (невязок). Важно, чтобы точка была измерена на всех снимках, на которых она отобразилась. Технология измерений обеспечивает выполнение данного условия автоматически. Фотограмметрические засечки также уравниваются по всем измерениям.

Если фототриангуляция является фундаментом технологии, то **коррелятор** изображений является ее центральным звеном. В ЗАО «ЦКМ» разработан собственный алгоритм работы коррелятора.

Комплекс ЗАО «ЦКМ» в качестве исходных данных использует все виды наземного опорного обоснования (планово-высотные, плановые и высотные точки), измеренные элементы ориентирования снимков (обычно они получаются в полете с использованием аппаратуры спутниковой навигации), а также данные об относительном положении точек местности, например, условие равенства высот точек, расположенных на урезе большого водоема.

За период разработки фотограмметрической станции было выпущено несколько внутренних версий комплекса, с помощью каждой из которых был выполнен проект по договору с ВИСХАГИ. Проекты включали от 30 до 250 снимков в масштабах от 1:15 000 до 1:30 000. Фокусные расстояния камер составляли 150 и 350 мм, а дискретность сканирования исходных фотоматериалов — 12–20 мкм.

Проекты были представлены в виде маршрутов фотографирования, выполненных в соответствии с «Основными положениями по аэрофотосъемке», а также нестандартной конфигурации с большим количеством маршрутов, включающих 2–4 снимка и покрывающих полосу вдоль железной дороги.

Второй вариант представлял интерес с точки зрения возможности совместного уравнивания измерений на снимках с ослабленными фотограмметрическими связями. Как и следовало ожидать, в данном случае имели место увеличенные отклонения по высоте. Их характер удобно было выявлять, исследуя полотно железной дороги, которое имеет достаточно ровную поверхность и может служить эталоном. Повышение точности результатов было достигнуто путем существенного увеличения числа измерений связующих точек, в качестве которых использовались измеренные в автоматическом режиме точки цифровой матрицы рельефа. Кстати, уравнивание точек ЦМР допускается в технологии системы как один из вариантов контроля и отбраковки измеренных коррелятором точек ЦМР.

На стандартных проектах первого варианта были апробированы и оценены потенциальные возможности математического аппарата. Необходимо отметить, что фототриангуляция является совершенно строгой математической моделью, которая связывает измерения на снимках центральной проекции и определяемые элементы внешнего ориентирования. В этих условиях понятие оптимального объема измерений существует только в статистическом смысле. Имеется некоторый минимальный объем измерений, при котором обеспечивается устойчивость решения, а также наблюдаемость определяемых параметров. Дальнейшее увеличение числа измерений приводит к повышению точности результатов. Однако, начиная с некоторого уровня, дальнейшее повышение точности приобретает асимптотический характер — примерно пропорционально квадратному корню из числа измерений. Этот вопрос нуждается в дополнительных исследованиях. В цифровой фотограмметрии можно измерить значительное число точек при помощи коррелятора. Однако известно, что операторы не любят такую неопределенность. Эксперименты на реальных проектах показали, что достаточно 13–15 равномерно распределенных точек на каждом снимке. Двухкратное увеличение числа измерений повышает точность на 20–30%, а дальнейшее увеличение — нецелесообразно. Кроме того, предварительный анализ обеспеченности измерительной информацией перед уравниванием имеет большое значение, и в планах дальнейшего развития программного продукта присутствует разработка специального модуля предварительного анализа измерений на основе теории оптимального планирования, в том числе для анализа влияния геодезического обоснования на остаточные деформации сети. Дело в том, что современные методы уравнивания фототриангуляции в принципе позволяют получать результат с точностью, соответствующей погрешностям используемых геодезических данных, а такой фактор, как погрешности измерений на снимках в настоящее время не является определяющим. Это обстоятельство косвенно подтверждается тем, что типичный коэффициент увеличения масштаба создаваемых ортофотопланов практически не бывает меньше 5.

С использованием математической модели местности, получаемой в результате построе-

ния фототриангуляции, выполнялось автоматическое измерение пространственных координат точек ЦМР при помощи коррелятора. Соответствующий модуль выполняет измерение координат в пределах заданных областей, автоматически формируя оптимальные **стереопары**, т. е. работа ведется на непрерывном объемном растровом пространстве. Оператор имеет возможность визуального стереоскопического контроля работы коррелятора. В ГИС Конструкторе «Ортофотоплан» реализованы основные средства наблюдения стереоэффекта. Имеются специальные приемы для цифрования лесных массивов и линейных объектов местности, оврагов и насыпей дорог.

В случае больших углов взаимного разворота и разномасштабности снимков для повышения качества и скорости работы коррелятора, а также создания комфортных условий для визуального стереонаблюдения в технологии предусмотрена процедура трансформирования растров.

Непрерывно решается проблема отбраковки ошибочных результатов работы коррелятора при помощи различных способов и специально разработанных процедур, например, упомянутого выше уравнивания по точкам ЦМР. В результате процент бракованных точек удается снизить до уровня менее 1% и заметно повысить точность пространственных координат точек ЦМР. На дальнейших этапах выявление аномальных точек продолжается.

После измерений точек ЦМР формируется регулярная матрица высот, которая используется для нанесения горизонталей и ортотрансформирования снимков.

Ортотрансформирование выполняется на основе уравненных элементов внешнего ориентирования снимков, имеются удобные средства формирования фотомозаики, зарамочного оформления планшетов.

Опыт выполнения проектов показал исключительную важность редактирования результатов нанесенных горизонталей. Компания ЦКМ в ближайшем будущем предполагает разработку и внедрение новых методик и технологий, среди которых можно отметить следующие:

— разработка программного обеспечения оценки точности сетей фототриангуляции методом статистического моделирования;

— совершенствование технологии автоматического цифрования рельефа в направлении адаптации коррелятора к конкретным формам рельефа и подстилающей поверхности путем их автоматической идентификации;

— разработка специальной версии программного обеспечения обработки изображений, получаемых цифровыми камерами, установленными на беспилотных носителях.

Опыт эксплуатации ЦФК, разработанного в ЗАО «ЦКМ» позволяет утверждать, что создаваемые в современных ЦФК ортофотопланы являются основным исходным материалом для создания и обновления карт и планов, а возможности использования самых прогрессивных методов обработки информации больших объемов позволяет существенно повысить точность результатов фотограмметрических построений.

Международная конференция «ИнтерКарто»

25–29 июня 2003 г. в Новороссийске и Севастополе состоится **«ИнтерКарто 9»** — конференция по географическим информационным системам (ГИС) для устойчивого развития территорий.

«ИнтерКарто» является ежегодной международной конференцией, проводимой в России с 1994 г. За это время было проведено восемь конференций, которые проходили в Москве, Иркутске, Новосибирске, Барнауле, Якутске, Апатитах (Мурманская обл.), Петропавловске-Камчатском, Хельсинки и Санкт-Петербурге. В этих конференциях в качестве докладчиков принимали участие известные ученые и специалисты из Европы, Азии, Африки, Америки и Австралии. В период работы конференции проводятся заседания комиссий Международной картографической ассоциации.

В этом году основными темами конференции являются:

— ГИС для решения задач устойчивого развития территорий;
— теория и методология ГИС;
— ГИС-технологии для территориального управления;
— устойчивое развитие и инновационные ГИС-проекты;
— экологические ГИС-проекты: опыт разработки;
— ГИС для изучения морей и океанов;
— образование в области устойчивого развития.

В.С. Тикунов, профессор кафедры картографии и геоинформатики МГУ им. М.В. Ломоносова