

ЦИФРОВАЯ ИНФРАКРАСНАЯ АЭРОСЪЕМКА ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

И.О. Бугаенко («Геотехнологии»)

В 2003 г. окончил механико-математический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «механик, математик-прикладник». После окончания университета работал в НПП «Аэрогеофизика». С 2005 г. работает в ЗАО «Геотехнологии», в настоящее время — инженер.

Е.В. Каршаков («Геотехнологии»)

В 1998 г. окончил механико-математический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «механик, математик-прикладник». С 2000 г. работал в НПП «Аэрогеофизика». С 2005 г. работает в ЗАО «Геотехнологии», в настоящее время — начальник отдела. Кандидат физико-математических наук.

В.В. Макаров («Геотехнологии»)

С 2004 г. работал в НПП «Аэрогеофизика». С 2005 г. работает в ЗАО «Геотехнологии», в настоящее время — инженер. Студент II курса факультета «Полупроводниковые материалы и приборы» Московского института стали и сплавов по специальности «кристаллофизика».

Результатом цифровой инфракрасной (ИК) аэросъемки являются цифровые ИК-снимки или тепловые снимки, представляющие собой изображение температурных полей, излучаемых земной поверхностью и инженерными сооружениями, расположенными как на поверхности земли, так и под землей.

Наличие ИК-снимков позволяет решать ряд задач. Рассмотрим более подробно некоторые из них.

Определение местоположения и диагностика состояния продуктопроводов, в частности, подземных тепловых сетей, с выделением предаварийных и аварийных участков

Характерной чертой современного города является наличие инженерных сетей тепло- и водоснабжения. Утечки горячей воды из трубопроводов тепловых сетей могут иметь разнообразные последствия — от изменения состава и температуры грунтовых вод до появления подземных полостей, заполненных горячей водой температурой 70–150°C, опасных как для ремонтной техники, так и для людей. Мониторинг состояния трубопроводов и своевременное обнаружение небольших трещин (свищей) в них, незаметных для стандартных систем контроля, позволяет ликвидировать место потенциального прорыва трубы до возникновения аварийной ситуации (рис. 1).

Выявление участков подземного самовозгорания на торфяниках, полигонах по захоронению отходов (свалках), в лесных массивах

В период летней жары в лесных массивах и на торфяниках могут возникать самопроизвольные или спровоцированные человеком возгорания, перерастающие в масштабные лесные пожары. Особенную сложность при ликвидации очагов возгорания представляет торф, так как его нижние слои способны гореть в течение длительного промежутка времени. При этом пожар не может быть обнаружен визуально. Получить истинную картину возгорания и, соответственно, скоординировать усилия пожарной техники можно, используя данные цифровой инфракрасной аэросъемки. Это высокопроизводительный дистанционный метод обнаружения даже подземных очагов возгорания.

Выявление участков сброса коммунальных и промышлен-

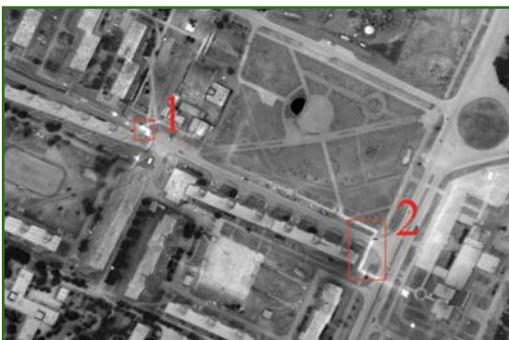


Рис. 1
Городская теплотрасса (Смоленская обл., 2006 г.): 1 — аварийный участок; 2 — участок с повышенным тепловыделением

ных вод в реки и водоемы и их загрязнение нефтепродуктами

Большинство крупных городов расположены вблизи рек или водоемов, в которые происходит сброс отходов производства промышленных предприятий. Организация таких сбросов контролируется службами СЭС и другими государственными, муниципальными и общественными организациями. Однако многие предприятия практикуют несанкционированные выбросы или нарушают предельно допустимую концентрацию токсичных отходов или их температуру. Наличие ИК-снимков позволяет обнаружить практически любые сбросы в водоем (так как благодаря турбулентности сбрасываемого потока всегда возникают аномалии теплового поля) и локализовать места для последующих гидрохимических проб (рис. 2).

Контроль эксплуатационного состояния автомобильных и железных дорог, а также покрытий взлетно-посадочных полос (ВПП) аэропортов с выявлением участков повышенной трещиноватости и обводнения

Поскольку автомобильные и железные дороги, а также ВПП аэропортов строятся на пересеченной местности, то они имеют участки с насыпным основанием. Насыпь состоит из отдельных гравийно-песчаных слоев, имеющих, как правило, неоднородный состав, а следовательно, и состояние. За счет грунтовых и талых вод (особенно в осенний и весенний периоды), а также интенсивных осадков в нижних песчано-гравийных слоях насыпных оснований в случае затрудненного стока могут образовываться полости воды, что, в свою очередь, приводит к разрушению насыпи при изменении температурно-атмосферных условий. Данные тепловой ИК-съемки позволяют обнаружить такие полости и определить участки дорог (ВПП), требующие срочного ремонта.

Следует отметить, что при планировании съемочных работ и интерпретации полученных результатов необходимо учитывать специфику конкретной задачи. Так, например, для обнаружения участков обводнения дорожного покрытия или железнодорожной насыпи требуется проводить съемку в наиболее сухое время года. При этом аэросъемку целесообразно выполнять в ночное время суток, перед наступлением тепловой инверсии (3–5 часов утра), когда участки обводнения на полученном ИК-снимке будут выглядеть максимально контрастно на фоне быстро остывающих сухих грунтовых участков. В свою очередь, при съемке водоемов желателен максимальный контраст температуры водоема с температурой сбросов, поэтому такие работы обычно проводятся весной или осенью и всегда в ночное время суток. Аналогичная ситуация возникает при съемке городских теплотрасс — идеальным временем для начала работ являются первые заморозки до выпадения снега, когда контраст между остывшей почвой и горячими трубами максимален. Лесные пожары и самовозгорающиеся торфяники требуют максимально оперативной ИК-съемки и срочной обработки данных. При наличии соответствующего технического оборудования информацию об очагах возгорания можно передавать непосредственно с борта летательного аппарата.

Для решения вышеперечисленных задач был разработан тепловизор VIS05, позволяющий выполнять инфракрасную аэрофотосъемку поверхности земли с борта летательного аппарата. Его отличительными характеристиками являются следующие:

- высокая чувствительность — 0,05°C при температуре фона 20°C;
- небольшой вес — 35 кг;



Рис. 2

Сброс промышленных отходов (Смоленская обл., 2006 г.): 1 — точка сброса; 2 — лесной массив и последствия сброса

— низкое энергопотребление — 7 А при 27 В.

Такие параметры VIS05 позволяют использовать его для аэросъемки с помощью небольших вертолетов и легких самолетов, например, таких как Ми-2 и Cessna-172D. При этом чувствительный элемент тепловизора крепится снаружи летательного аппарата.

Выдаваемое тепловизором цифровое изображение состоит из отдельных линий, полученных сканером с вращающимся зеркалом. Частота выдачи данных составляет 230 линий в секунду. Сканирование проводится тонким лучом, шириной 2,4°, угол обзора которого составляет 90°. В тепловизоре VIS05 ис-

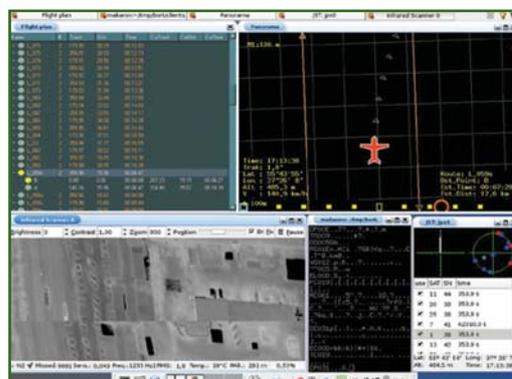


Рис. 3

Отображение информации на экране бортового компьютера (слева направо, сверху вниз): план полета, панорама, окно тепловизора, окно терминала (отладочная функция), экран спутникового приемника

пользуется охлаждаемый азотом датчик с высокой разрешающей способностью (CdHgTe), измеряющий излучение в диапазоне 8–14 мкм (дальний ИК-диапазон).

Для создания целостного цифрового изображения из накопленных за полет отдельных линий необходимо знать пространственное положение для каждой линии и ориентацию летательного аппарата в пространстве в момент измерения. Т. е. в каждый момент сканирования необходимо измерять пространственные координаты, высоту над земной поверхностью, углы курса, крена и тангажа сканера.

Для измерения углов курса, крена и тангажа была разработана бесплатформенная инерциальная система ориентации SIAS-2. Она состоит из

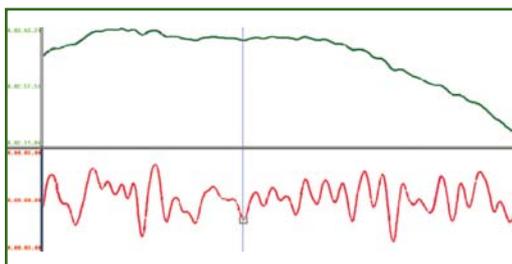


Рис. 4
Угол тангажа (зеленый график) и его высокочастотная компонента (красный график)

трех волоконно-оптических гироскопов фирмы «Физоптика» и трех акселерометров серии ADXL фирмы Analog Devices, Inc. Для определения пространственных координат и сигналов точного времени используется спутниковый приемник ГЛОНАСС/GPS. Сигналы с датчиков проходят через высокоточный аналого-цифровой преобразователь и передаются в цифровой сигнальный процессор.

Для управления процессом аэросъемки разработано многофункциональное программное обеспечение, позволяющее планировать полеты, контролировать качество поступающих данных и взаимодейство-

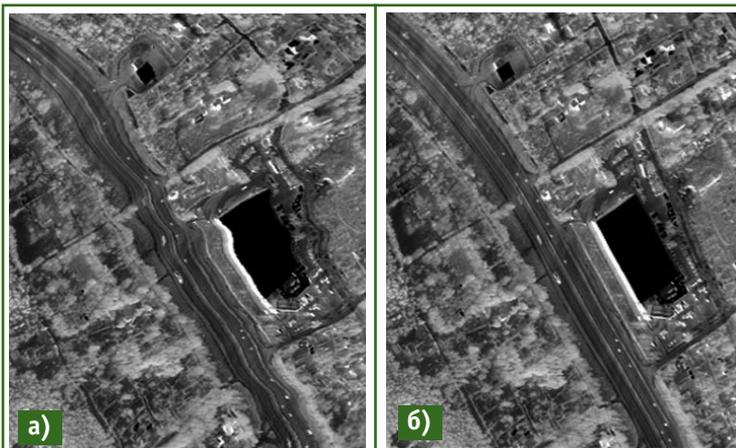


Рис. 5
Участок плана ИК-съемки: а) до коррекции системой SIAS-2; б) после

вать с пилотом через пилотский индикатор типа «стрелка».

Данные со сканера поступают в программу по протоколу TCP/IP и автоматически синхронизируются с данными гироскопов, акселерометров, спутникового приемника и радиовысотомера. Программа работает в графической оболочке X-Window System операционной системы Linux. Пример использования программы на бортовом компьютере приведен на рис. 3.

Для обработки данных SIAS-2 был разработан алгоритм и создано соответствующее программное обеспечение, получающее на входе сигналы датчиков и рассчитывающее высокоточное ориентационное и навигационное решение (рис. 4).

В модели, положенной в основу этого алгоритма, движение приборного трехгранника относительно модельного описывается уравнением Пуассона:

$$dA/dt = \Omega A,$$

где **A** — матрица текущей ориентации; **Ω** — кососимметричная матрица, умножение на которую задает векторное произведение с вектором угловой скорости.

Точность определения углов для построения плана масштаба 1:10 000 должна составлять величину порядка 1°, однако при переходе от строки к строке тре-

буется точность <0,001 рад. Примененный авторами алгоритм коррекции углов и координат основан на методе фильтрации Калмана, который является оптимальным среди линейных оценщиков с квадратичным критерием качества. Для монтажа цифрового теплового изображения используется получаемое сглаженное навигационное решение, избавленное от скачков навигационного решения спутникового приемника (рис. 5).

Результаты испытаний системы в реальных съемочных полетах показали, что погрешность измерения угла рыскания не превышает 2°, а точность измерения углов крена и тангажа лучше 1°. Угловая чувствительность системы составляет 0,1". Таким образом, созданная авторами система позволяет выполнять высокоэффективную (порядка 100 км/ч) ИК-съемку.

RESUME

The article is dedicated to the tasks of monitoring and mapping in the thermal (infrared) spectral band. A review is given for the typical applications including difficulties faced while solving the relative tasks. Software together with the hardware created by the authors for these tasks solution are introduced. Examples of the survey data processing are also given.