

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАЛЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ТЕПЛОВОЙ СЪЕМКЕ

В.Н. Кузьмин¹, С.И. Зуй², А.М. Павлюченко²

¹*Белорусский государственный университет*, ²*ГНПО НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам, Минск, Беларусь*

Развитие беспилотной авиации в последнее время позволило существенно расширить сферу ее применения в гражданском секторе деятельности. В настоящее время в мире существует множество типов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), различающихся по своим габаритам, массе, дальности полета и некоторым другим физическим характеристикам [1]. Миниатюризация систем управления и спутниковой навигации (GPS/ГЛОНАСС) позволили создать класс сверхмалых беспилотных летательных аппаратов, у которого габариты, масса, а главное их стоимость на порядок меньше, чем у других классов. Они не требуют никакой наземной инфраструктуры, специального персонала и могут управляться и обслуживаться сотрудниками обычных организаций.

Удачным примером из этой области является БПЛА «Бусел», разработанный в ГНУ «Физико-технический институт» НАН Беларуси. БПЛА «Бусел-М» – аппарат сверхмалого класса на электрической тяге. Он не требует специальной площадки для запуска и посадки, поскольку запуск производится с руки, а посадка происходит на парашюте. Ниже приведены наиболее важные для пользователя характеристики:

крейсерская скорость полета	65–70 км/ч
практический потолок высоты	1000 м
максимальная взлетная масса БПЛА	около 10 кг
масса целевой нагрузки	до 0,8 кг
максимальная продолжительность полета	до 70 мин

Управление аппаратом происходит или дистанционно с использованием радиосигнала, или в автоматическом режиме с предварительным программированием маршрута полета. Информация о ходе полета, включая данные обзора местности, получаемые с навесного оборудования, передается на пункт управления. Зона устойчивого приема информации зависит от чувствительности принимающей аппаратуры. В стандартной конфигурации радиус зоны действия антенны составляет около 20 км. В автоматическом режиме полет может происходить автономно с записью полезной информации на борту. Погодные условия для полета ограничены скоростью ветра более 10 м/сек и температурным интервалом (-15 °С–35 °С).

Практический опыт применения БПЛА ведущими странами выявил широкий набор гражданских задач, при решении которых БПЛА показывают свою высокую эффективность. Достаточно крупными рынками для гражданской беспилотной авиации являются те виды деятельности, где требуется регулярный осмотр или мониторинг линейных и площадных объектов. Одним из весьма эффективных средств мониторинга местности и объектов является мониторинг в инфракрасном (ИК) диапазоне спектра. Существенный интерес представляет собой тепловой или дальний ИК диапазон с длинами электромагнитных волн от 7 до 14 мкм. Именно на этот спектральный диапазон приходится максимум энергии собственного излучения, испускаемого всеми наземными и подземными объектами, при температурах, характерных для приповерхностного слоя Земли.

Тепловой мониторинг земной поверхности связан не только с выявлением мощности и динамики естественных тепловых источников, но и с решением практических задач, связанных с хозяйственной деятельностью. Таких как:

- определение местоположения и диагностика состояния подземных тепловых сетей, с выделением предаварийных и аварийных участков;
- картирование и дистанционная диагностика газо- и нефтепроводов;
- выявление участков подземного самовозгорания на полигонах по захоронению отходов (свалках), на торфяниках, в лесных массивах;
- выявление участков сбросов коммунальных и промышленных вод в реки и водоемы, картирование загрязнений нефтепродуктами;
- выявление участков обводнения и подтопления;
- контроль состояния дорожных покрытий и взлетно-посадочных полос аэропортов.

Надежный прием теплового излучения обеспечивается специальными приемниками, которые фиксируют пространственное распределение поверхностного теплового поля [2], зависящего как от наземных и подземных источников тепла, так и физических характеристик геологической среды.

В настоящее время появился новый класс приборов под общим названием неохлаждаемые ИК приемники излучения, которые фиксируют его в среднем и дальнем ИК диапазонах спектра. Конструктивно основная или сенсорная часть прибора состоит из корпуса с помещенной в нем матрицей сенсоров (микроболометров) и обслуживающей ее электроникой. Сенсорный блок имеет небольшой размер от 5 см и малый вес от 300 г. В зависимости от функционального назначения блок комплектуется объективами с тем или иным набором линз, которые являются прозрачными в тепловом ИК диапазоне. Размер и вес оптического блока не превышают таковые для сенсорного блока. Дополнительно, благодаря использованию микроболометров, отсутствует необходимость охлаждать прибор до низких температур, как это происходит для сенсоров из ПЗС линеек в тепловом ИК диапазоне спектра. Таким образом, габариты и вес прибора позволяют использовать его на платформе сверхлегких БПЛА.

Преобразование ИК излучения с приемников в электрические сигналы производится электронными компонентами прибора. На выходе прибора формируются сигналы в телевизионных стандартах PAL или NTSC, или в цифровом формате LVDS. Дифференциация сигналов по температуре в элементах матрицы происходит с шагом 0,05 °С. Съёмки местности в ИК диапазоне спектра можно проводить не только днем, но и ночью, когда без подсветки обычная видеосъемка невозможна. Более того, ночные геологические съемки позволяют избавиться от незначимых источников, образующихся при солнечном нагреве дневной поверхности, и фиксировать только источники подземного тепла. Следует также отметить, что вследствие оптических свойств ИК излучения в дальнем диапазоне спектра, возможно наблюдение объектов в условиях значительной атмосферной дымки и задымленности местности.

Идеальным средством для теплового мониторинга местности с использованием таких ИК приборов являются беспилотные летательные аппараты. Малогабаритные, летающие на небольших высотах они могут в автоматическом режиме без участия оператора обследовать заранее заданные территории, передавать материалы съемки на пункт управления или сохранять их в памяти на борту аппарата в течение всего полета. Наличие на БПЛА средств космической навигации позволяет осуществлять координатную привязку всех материалов.

При испытаниях для теплосъемки местности использовалась неохлаждаемая ИК камера «TinyCam640» фирмы «ULIRvision», установленная на БПЛА «Бусел» и работавшая в кадровом режиме. Основные характеристики камеры «TinyCam640» приведены ниже.

Тип детектора	неохлаждаемая матрица (FPA),
Разрешение в фокальной плоскости	640 × 480 pixels
Размер ячейки матрицы	25 мкм
Угловое разрешение	0.7 mrad
Чувствительность по температуре (NETD)	

для линзовой системы f/1.0	<65 °mC
Частота кадров	50Hz
Спектральный диапазон	8–14 мкм
Вес (без объектива)	145 г
Размер (без объектива)	47.5 × 58 × 57 мм
Фокусное расстояние объектива	35 мм

Фиксация объектов на местности происходила в кадровом режиме и передавалась по радиоканалу на пункт управления в телевизионном черезстрочном формате (PAL). При съемках местности выбирались высоты полетов от 300 м и меньшие. В этом случае на кадрах можно уверенно фиксировать контуры тепловых источников, размером, не превышающим 3 м. Полоса захвата при максимальных высотах полета достигала 120 м, а пространственное разрешение на местности составляло порядка 20 см с учетом «смаза» изображения в 1 пиксель за счет движения БПЛА с крейсерской скоростью 70 км/час.

При преобразовании аналогового сигнала, поступающего с БПЛА на компьютер пункта управления, в цифровой видеосигнал динамический диапазон яркости не превышал по величине 8 bit. Этого динамического диапазона на температурном фоне 0-20 °C оказалось вполне достаточным не только для выделения тепловых (36-40 °C) объектов, но и природных объектов на дневной поверхности – растительности, обнажений, инфраструктуры. Объекты с разной температурой и разными теплофизическими характеристиками уверенно фиксировались на снимках.

Литература

1. *Whitehead K., Chris H. Hugenholtz* Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs), part 1: a review of progress and challenges // *J. Unmanned Veh. Syst.* 2014. Vol. 2. - P. 69-85.
2. *Bhan R.K., Saxena R.S., Jalwania C.R., and Lomash S.K.* Uncooled Infrared Microbolometer Arrays and their Characterisation Techniques // *Defence Sci. J.* 2009. Vol. 59, N 6. - P. 580-589.