

измерения дальности диодный лазерный дальномер с длиной волны 905 нм заменен на твердотельный лазерный дальномер с ламповой накачкой с воздушным охлаждением и длиной волны генерации 1064 нм. Данное решение позволило в 4 раза увеличить диапазон измерения дальности и обеспечить высокий уровень устойчивости к внешним воздействующим факторам (туман, дождь, снег). Применение импульсного лазерного дальномера так же обеспечило возможность измерения дальности до объектов с переменным диффузным коэффициентом (дымы, облака, восходящие потоки и т.п.).

Для увеличения дальности обнаружения целей в тепловизионном канале тепловизионный объектив прибора «Капонир» с фокусным расстоянием 100 мм заменен на объектив с фокусным расстоянием 150 мм и относительным отверстием 1,0.

Дальность обнаружения целей в телевизионном канале увеличена за счет перехода на модульную видеокамеру нового поколения и усовершенствования алгоритмов обработки сигналов, поступающих от видеокамеры.

Замена тепловизионного объектива и видеокамеры позволила в 2,2 раза увеличить дальность обнаружения целей в различное время суток.

Одна из приоритетных задач прибора «Капонир» – определение координат целей. Основным параметром, влияющим на точность определения координат цели – среднеквадратическое отклонение измерения азимутального угла ориентации. Для обеспечения высокой точности определения координат цели во всем увеличенном диапазоне дальности обнаружения целей принято решение о замене угломерного устройства, основанного на электронном магнитном компасе, на угломерное устройство на основе абсолютного углового энкодера с точностью измерения угла 16 бит. При этом точность измерения азимутального угла на цель была повышена в 10 раз.

Для увеличения жесткости конструкции, в связи с необходимостью замены основных частей на менее компактные, полностью переработан корпус прибора «Капонир», что повлияло на массогабаритные характеристики.

На рис. 2 показан общий вид модернизированного изделия «Переносной телевизионно-тепловизионный наблюдательный прибор-дальномер «Капонир-М» (далее – прибор «Капонир-М»).



Рисунок 2 – Общий вид прибора «Капонир-М»

В таблице 2 представлены основные технические характеристики прибора «Капонир-М».

Таблица 2. Основные технические характеристики прибора «Капонир-М»

Телевизионный канал	
Дальность обнаружения цели типа «танк» (боковая проекция)	не менее 10000 м
Тепловизионный канал	
Дальность обнаружения цели типа «танк» (боковая проекция)	не менее 10000 м
Дальномерный канал	
Диапазон измерений дальности	от 50 до 18000 м
Среднеквадратическая ошибка измерения дальности	не более 3 м
Угломерное устройство	
Диапазон определения угла ориентации в горизонтальной плоскости (азимута)	от 0 до 360 °
Среднеквадратическое отклонение измерения угла ориентации в горизонтальной плоскости	не более 0,06 °
Среднеквадратическое отклонение измерения угла ориентации в вертикальной плоскости	не более 0,5 °
Масса и габаритные размеры	
Масса прибора	не более 10 кг
Габаритные размеры прибора	не более 300×400×210 мм

Указанные характеристики подтверждены успешными лабораторными и полевыми испытаниями прибора «Капонир-М».

УДК 528.8

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КРИТЕРИЕВ ИНФОРМАТИВНОСТИ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

Романов Д.В., Фёдорцев Р.В.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе приводится сравнительная оценка критериев информативности данных дистанционного зондирования Земли из космоса. Классификация дистанционных методов зондирования Земли из космоса основана на типе источника сигнала для исследования объекта – активном или пассивном.

Ключевые слова: зондирование Земли, критерий информативности данных, измерительная система.

COMPARATIVE EVALUATION OF THE INFORMATION CRITERIA FOR THE DATA OF REMOTE SENSING OF THE EARTH FROM SPACE

Romanov D., Fedortsev R.

Belarusian National Technical University
Minsk, Belarus

Abstract. The paper provides a comparative assessment of the criteria for the information content of Earth remote sensing data from space. The classification of remote sensing methods for Earth sensing from space is based on the type of signal source for object research – active or passive.

Key words: earth sounding, criterion of data informativity, measuring system.

Классификация дистанционных методов зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса основана на типе источника сигнала для исследования объекта – активном или пассивном.

В пассивном ДЗЗ из космоса применяется оптико-электронная аппаратура (ОЭА), которая выполняет съемку подстилающей поверхности Земли, преобразование изображения в цифровой код, сжатие, формирование целевой информации (ЦИ), запоминание, хранение и выдачу ЦИ в высокоскоростную радиолинию (ВРЛ) космического аппарата (КА) для передачи на наземные пункты приема для последующей первичной и тематической обработки данных.

Основными техническими характеристиками ОЭА, определяющими сферу применения, являются следующие параметры: геометрическое пространственное разрешение (проекция пиксела на Землю) (GSD), ширина полосы захвата, отношение сигнал/шум (SNR), функция передачи модуляции (ФПМ), спектральный диапазон, точность геопривязки. Совокупность значений данных параметров определяют критерий ОЭА по возможной сфере применения данных ДЗЗ. Таким критерием является линейное разрешение на местности (ЛРМ) (термин применяется в странах СНГ) и уровень NIIRS (термин применяется в зарубежных странах). Эти параметры характеризуют возможность различать «мелкие» детали на полученных снимках.

ЛРМ – усредненная величина полупериода произвольно ориентированной трехшпальной квадратной миры, каждая шпала которой при известных значениях альбедо фона, контраста миры, угла визирования, обнаруживается наблюдателем на получаемом изображении с вероятностью не менее заданной.

Методика предварительной оценки ЛРМ основана на определении предельно-разрешаемой пространственной частоты элемента прямоугольной стандартной трехшпальной миры, путем решения сквозного частотно-энергетического уравнения.

Искомое ЛРМ в продольном и поперечном направлениях, вычисляются по формулам:

$$ЛРМ_x = D_n / [2v_{пред,x} F \cos(Uv)],$$

$$ЛРМ_y = D_n / [2v_{пред,y} F \cos(Uv)],$$

где D_n – наклонная дальность наблюдения, км (в расчетах, в соответствии с зачетными условиями, выбирается высота орбиты КА); F – фокусное

расстояние объектива, мм; U_v – угол визирования, град; $v_{пред}$ – предельно-разрешаемая пространственная частота элемента прямоугольной штриховой миры, при наблюдении изображения которой, воспринимаемое оператором эффективное (визуальное) отношение сигнал-шум на ее отдельном штрихе будет составлять пороговое значение, обеспечивающее требуемую вероятность его распознавания по принятому критерию дешифрируемости.

NIIRS используется аналитиками изображений для присвоения числа, которое указывает на интерпретируемость данного изображения. Концепция NIIRS позволяет напрямую связать качество изображения с задачами интерпретации, для которых оно может быть использовано. NIIRS обеспечивает систематический подход к измерению качества цифровых изображений.

Общее уравнение качества снимков:

$$NIIRS = c_0 + c_1 \log_{10}(GSD) + c_2 \times \log_{10}(RER) + c_3 \frac{G}{SNR} + c_4 H,$$

где c_0, c_1, c_2, c_3, c_4 – коэффициенты, значения которых приведены в справочных таблицах; GSD – проекция пиксела на Землю в дюймах; RER – среднегеометрическое значение величины переходной функции изображения резкого края с учетом функции передачи модуляции (ФПМ) аппаратуры (объектива и фотоприемника), ФПМ атмосферы, ФПМ смаза.

SNR – отношение сигнал/шум для Ламбертовского источника с коэффициентами отражения 7 % и 15 %.

Таблица 1. Соответствие уровней NIIRS к ЛРМ

Видимый объект	GSD, м	Уровень NIIRS	ЛРМ, м
Идентификация по общему типу гусеничных машин, полевой артиллерии, группы транспортных средств	1,2–2,5	4	1,56–3,25
Обнаружение автомобиля на стоянке	0,75–1,2	5	0,97–1,56
Различаемость моделей малых/средних вертолетов	0,4–0,75	6	0,56–0,97
Идентификация железнодорожных путей	0,2–0,4	7	0,28–0,56

Для сопоставления ЛРМ и уровней NIIRS было проведено исследование по моделированию вышеуказанных параметров. По разработанной математической модели оптико-электронного тракта задавались параметры ОЭА с последующим расчетом ЛРМ и уровня NIIRS (см. таблицу 1). Расчет проводился для ОЭА среднего и высокого разрешения с высоты орбиты 500 км для следующих зачетных условий:

- съемка в надири;
- высота Солнца над местным горизонтом – не менее 30 град;
- коэффициент пропускания атмосферы – не менее 0,85 (интегральный) или метеорологическая дальность видения (МДВ) не хуже – 20 км;
- минимальный коэффициент отражения подстилающей поверхности 0,1;
- максимальный коэффициент отражения тест – объекта 0,4;
- альbedo фона 0,07;
- вероятность обнаружения не менее 0,8.

На основе полученных результатов были определены требования к ОЭА по критериям ЛРМ и уровню NIIRS для различных сфер применения (табл. 2).

Таблица 2. Сфера применения

Сфера применения	ЛРМ, м	Уровень NIIRS
Военное дело	0,28–0,97	6, 7
Гражданский сектор	0,97–1,56	5
Сельское хозяйство	1,56–3,25	4
МЧС	1,56–3,25	4

В ходе проведенного расчета и последующего анализа было определено соответствие друг другу уровней NIIRS и ЛРМ. На основе расчетных данных и в зависимости от поставленных задач по применению ОЭА можно сформировать технический облик аппаратуры для потенциального пользователя.

Литература

1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://irp.fas.org/imint/niirs.htm>. – Дата доступа: 01.10.2021.
2. Данные дистанционного зондирования Земли из космоса. Качество данных дистанционного зондирования Земли из космоса. Перечень показателей качества данных дистанционного зондирования Земли из космоса, получаемых с космических аппаратов оптико-электронного наблюдения в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне : ГОСТ Р 59475-78.

УДК 681.772

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ПРИБОРОВ НА ОСНОВЕ НЕОХЛАЖДАЕМЫХ БОЛОМЕТРИЧЕСКИХ МАТРИЦ

Свибович И.В., Шкадаревич А.П.

УП НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе приведен краткий обзор современных тенденция оптического приборостроения в области тепловизионной техники. Рассмотрено применение тепловизионных матриц с различным разрешением и размером пикселей, их влияние на тактико-технически характеристики изделий. Показаны преимущества и недостатки применения различных видов калибровки тепловизионного изображения (тепловизионные модули с механическим затвором и без него). Затронута тематика использования атермализованных объективов в современных приборах наблюдения и тепловизионных прицелах.

Ключевые слова: тепловизионный модуль, атермализованный объектив, калибровка.

CURRENT TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF THERMAL IMAGING DEVICES BASED ON UNCOOLED BOLOMETRIC MATRICES

Svibovich I., Shkadarevich A.

Unitary Enterprise STC "LEMT" of the BelOMO
Minsk Belarus

Annotation. The paper provides a brief overview of modern trends in optical instrumentation in the field of thermal imaging technology. The use of thermal imaging matrices with different resolution and pixel size, their influence on the tactical and technical characteristics of products is considered. The advantages and disadvantages of using various types of thermal image calibration (thermal imaging modules with and without a mechanical shutter) are shown. The topic of the use of materialized lenses in modern surveillance devices and thermal imaging sights is touched upon.

Keywords: thermal imaging module, materialized lens, calibration.

Адрес для переписки: Свибович И.В., ул. Макаенка, 23, корп. 1, 220113, Республика Беларусь
e-mail: ilya_svibovich@mail.ru

В данной статье при упоминании микроболометрических модулей будут иметься в виду тепловизионные матрицы дальнего ИК-диапазона (8–14 мкм).

Развитие электроники и усовершенствование технологии производства болометрических приемников излучения стало причиной появления большого количества коммерчески доступных