

УДК 528.8

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАСЧЕТНЫХ И ИЗМЕРЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ИНФОРМАТИВНОСТИ ОЭА ДЛЯ ДЗЗ ИЗ КОСМОСА

Романов Д.В., Фёдорцев Р.В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В статье рассмотрена апробация математической модели, описывающей прохождение сигнала в оптико-электронном тракте, по космическим снимкам, полученным с космических аппаратов (КА) для дистанционного зондирования Земли. Для апробации модели были отобраны снимки со съемочной аппаратуры высокого разрешения с различной проекцией пиксела на Землю. По данным снимкам были определены следующие параметры изображения: отношение сигнал/шум (SNR), функция передачи модуляции (ФПМ) и выполнен расчет линейного разрешения на местности (ЛРМ). В результате сравнительного анализа было определено, что разработанная модель имеет относительную погрешность не более 10 % от реальных полученных параметров ОЭА.

**Ключевые слова:** оптико-электронная аппаратура, отношение сигнал/шум (SNR), функция передачи модуляции (ФПМ), линейное разрешение на местности (ЛРМ), дистанционное зондирование Земли из космоса.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CALCULATED AND MEASURED INFORMATION PARAMETERS OF OEE FOR ERS FROM SPACE

Romanov D., Feodortsau R.

Belarusian National Technical University  
Minsk, Republic of Belarus

**Annotation.** The article considers the approbation of a mathematical model of the optical-electronic path of optoelectronic equipment (OEE) using satellite images obtained by spacecraft (SC) for remote sensing of the Earth from space. To test the model, images from high-resolution imaging equipment with different ground sample distance (GSD) were selected. Based on these images, the following image parameters were determined: signal-to-noise ratio (SNR), modulation transfer function (MTF), and the calculation of linear terrain resolution (LTR) was performed. A comparative analysis of the calculated and measured parameters of the OEE has been carried out.

**Keywords:** optoelectronic equipment, signal-to-noise ratio (SNR), modulation transfer function (MTF), linear terrain resolution (LTR), remote sensing of the Earth from space.

Адрес для переписки: Романов Д.В., ул. Академика Высоцкого, 3, Минск 220114, Республика Беларусь  
e-mail: dmitrij\_romanov\_86@mail.ru

Разработана математическая модель оптико-электронного тракта оптико-электронной аппаратуры (ОЭА) среднего и высокого разрешения, предназначенной для дистанционного зондирования Земли из космоса. Модель оптико-электронного тракта описывает параметры ОЭА с последующим расчетом линейного разрешения на местности (ЛРМ), в т.ч. параметры: геометрическое пространственное разрешение (проекция пиксела на Землю) (GSD), ширина полосы захвата, отношение сигнал/шум (SNR), функция передачи модуляции (ФПМ), спектральный диапазон [1]. Данная модель позволяет при различных условиях съемки прогнозировать вышеперечисленные параметры информативности ОЭА. Под различными условиями съемки понимается высота рабочей орбиты, углы крена и тангажа, высота Солнца над местным горизонтом, коэффициент пропускания атмосферы, коэффициент отражения подстилающей поверхности, коэффициент отражения тест – объекта, альbedo фона и вероятность обнаружения.

Так, с использованием данной модели были определены конструктивные параметры реально

разрабатываемых ОЭА среднего ( $1,0 \text{ м} \leq \text{GSD} \leq 4,0 \text{ м}$ ) и высокого ( $\text{GSD} < 1,0 \text{ м}$ ) разрешения для удовлетворения требованиям по качеству получаемого изображения (см. табл. 1).

Таблица 1. Технические характеристики ОЭА (расчетные)

Наименование	GSD, м	ЛРМ, м	ФПМ	SNR
ОЭА среднего разрешения	2,2	3,0	0,11	120
ОЭА высокого разрешения	0,75	1,1	0,10	100

Расчет проводился для ОЭА среднего и высокого разрешения с высоты орбиты 500 км для следующих зачетных условий:

- съемка в надир;
- высота Солнца над местным горизонтом – не менее 30 град;
- коэффициент пропускания атмосферы – не менее 0,85 (интегральный) или метеорологическая дальность виденья (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.

После запуска на орбиту представленных ОЭА в составе КА в ходе летных испытаний по реальным полученным изображениям подстилающей поверхности Земли из космоса были определены основные параметры изображений [2].

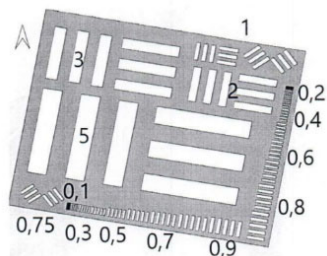


Рисунок 1 – Фрагмент полигона Баотоу с «трехшпальными мирами» с обозначением их геометрических размеров в метрах [3]

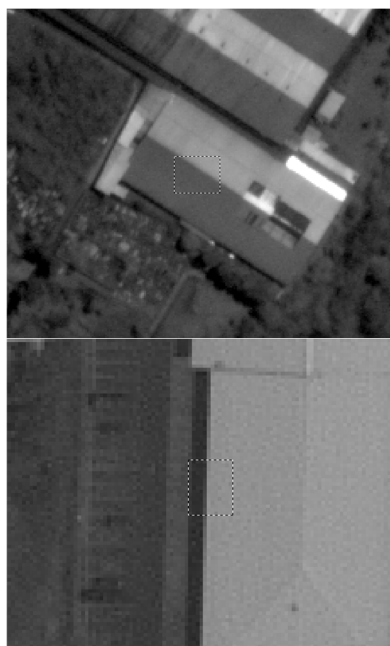


Рисунок 2 – Фрагменты изображений, подлежащие оценке методом «резкого края»

SNR определялось как отношение среднего значения сигнала к стандартному отклонению сигнала при съемке равномерных по яркости участков поверхности Земли.

ЛРМ определялось по съемке объекта типа «Трехшпальная мира» по специализированному наземному полигону Баотоу (КНР) (рис. 1).

Расчет ФПМ с учетом величины «смаза» и параметров навигации и ориентации проводился по методу «резкого края» (рис. 2).

В результате оценки данных параметров получились следующие результаты (табл. 2).

Таблица 2. Технические характеристики ОЭА (измеренные)

Наименование	ЛРМ, м	ФПМ	SNR
ОЭА среднего разрешения (GSD = 2,0 м)	3,0	0,12	112
ОЭА высокого разрешения (GSD = 0,75 м)	1,0	0,11	108

В результате сравнительного анализа было определено, что разработанная модель имеет относительную погрешность не более 10 % от реальных полученных параметров ОЭА. Данная погрешность обусловлена в первую очередь состоянием атмосферы на момент реальной съемки, а именно ее турбулентностью.

Данную математическую модель можно использовать для проектирования ОЭА ДЗЗ из космоса.

#### Литература

1. Романов, Д. В. Оценка основных показателей информативности оптико-электронных систем дистанционного зондирования Земли из космоса / Д. В. Романов, Р. В. Фёдорцев // 12-я международная научно-техническая конференция «Приборостроение – 2019». – Минск, Изд-во БНТУ, 2019. – С. 472–474.
2. Основные оценочные параметры съемочной аппаратуры при формировании космических снимков земной поверхности / Д. В. Романов [и др.] // 14-я международная научно-техническая конференция «Приборостроение- 2021». – Минск, БНТУ, 2021. – С. 462–464.
3. Uncertainty Analysis Statement-Batou Site (QA4EO-WGCV-IVO-CSP-002) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.academia.edu/>.