

**Камера для измерения контрастности границы атмосфера-
море в видимом и инфракрасном диапазонах с целью
оценки возможности обнаружения линии горизонта в
ночное время**

Маслов И.А., Гришин В.А.

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

imaslov@iki.rssi.ru

vgrishin@iki.rssi.ru

**Восемнадцатая Всероссийская открытая конференция
"Современные проблемы дистанционного зондирования
земли из космоса"**

ИКИ РАН 16-20.11.2020

Секция: Вопросы создания и использования приборов и систем для спутникового мониторинга состояния окружающей среды.

Ключевые слова: видимый инфракрасный морской ночной горизонт

В настоящее время для навигации активно используются глобальные навигационные спутниковые системы, такие как GPS, ГЛОНАСС и ряд других. Принципиальным недостатком такого рода систем является их крайне высокая степень уязвимости к средствам радиоэлектронного подавления. В последние годы указанный недостаток стал совершенно неприемлемым и нетерпимым уже во многих практических приложениях навигации [1,2].

Поэтому во всем мире активно ведутся исследования, направленные на повышение устойчивости и надежности решения навигационной задачи [3-5]. Лидером этого процесса является Агентство перспективных оборонных исследовательских проектов США (DARPA) [6-9]. Хотя практически все технологически развитые страны (включая Китай) активно работают в этом направлении.

Одним из естественных направлений такого рода исследований является использование проверенных временем, хорошо апробированных классических методов навигации по звездам и телам Солнечной системы с применением современной техники обработки и анализа изображений [10,11].

При этом наиболее важным и ответственным этапом, в наибольшей степени влияющим на точность решения навигационной задачи, является определение направления местной вертикали. Классическим способом определения направления местной вертикали является визирование линии горизонта. Вследствие наличия на Земле атмосферы, в которой происходит рассеивание и поглощение оптического излучения, а также присутствия вариаций температуры, давления и влажности, порождающих нерасчетную рефракцию, имеются ошибки расчета местной вертикали. Эти ошибки быстро растут с увеличением высоты и на высотах полета беспилотных летательных аппаратов могут существенно превышать ошибки на уровне моря.

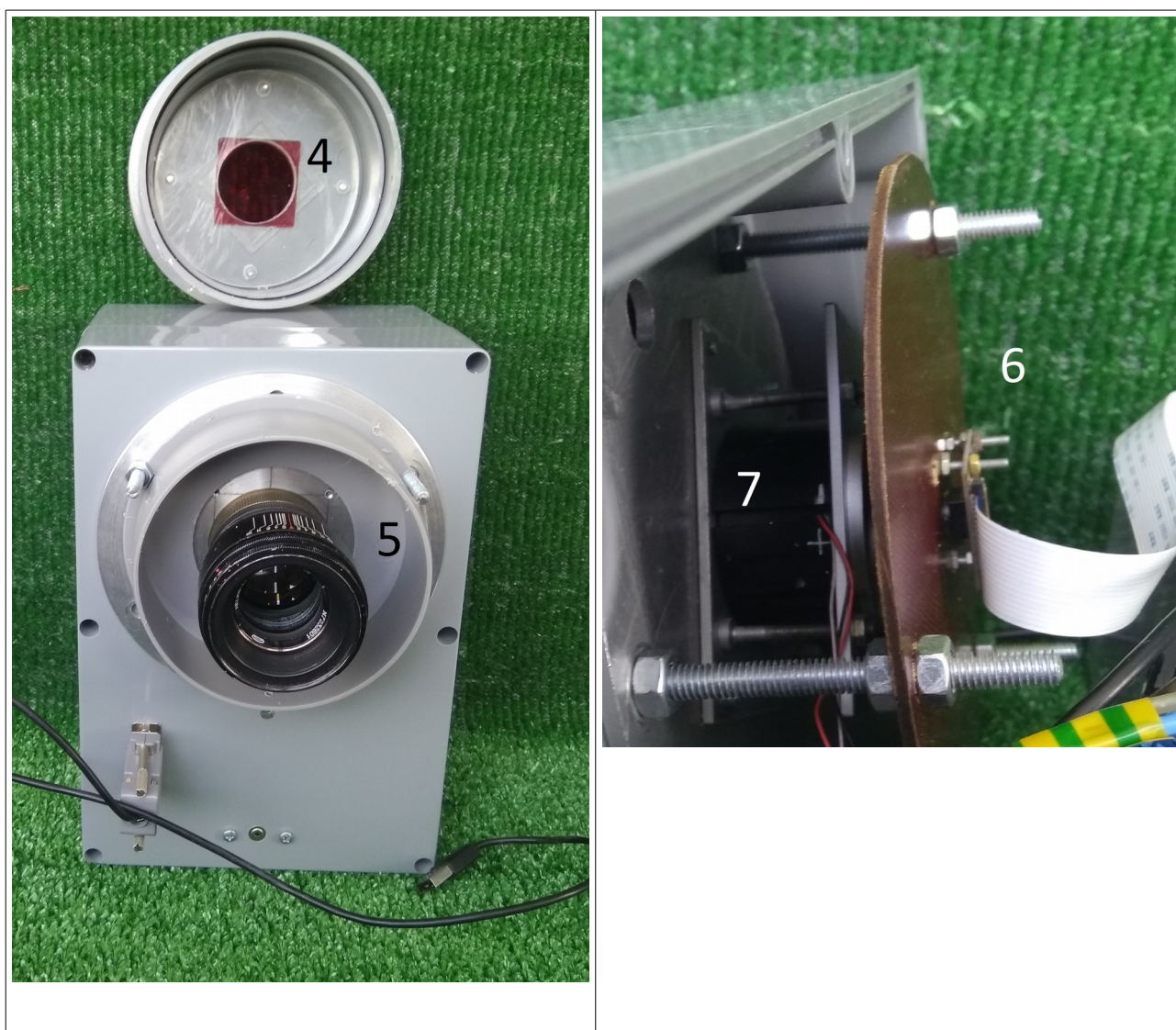
Ранее нами были проведены расчеты профиля яркости в районе линии горизонта для видимого и инфракрасного диапазонов спектра [12]. Данная работа начата для экспериментальной проверки этих расчетов при наблюдении горизонта с высоты 370 м над уровнем моря.

Для наблюдения контрастности границы атмосфера-море в видимом и инфракрасном диапазонах изготовлена камера, имеющая два соответствующих канала.



1 – оптический канал; 2 – инфракрасный канал; 3 – разъем питания.

Оптический канал с полем зрения диаметром около 17° содержит объектив Helios-44-2 ($F=58$ мм 1:2), создающий изображение на электронно-оптическом преобразователе (ЭОП) ЭПМ223Г-12-14АР производства ЗАО "Экран ФЭП", и оптическую матрицу 3280×2464 пикселей (Sony IMX219 Exmor), на которой строится изображение люминесцентного экрана ЭОП. Перед объективом установлен светофильтр (в настоящее время выполненный из стекла КС11 и ограничивающий спектральную область принимаемого излучения волнами длиннее 620 нм).



4 – светофильтр; 5 – объектив; 6 – оптическая матрица; 7 – ЭОП.

Инфракрасный канал содержит приемник НТРА32x32dL2.1/0.8 (фирмы Heimann Sensor) имеющий терморпарную матрицу с 32x32 элементами и германиевую линзу, которые обеспечивают поле зрения инфракрасного канала 90°x90°.

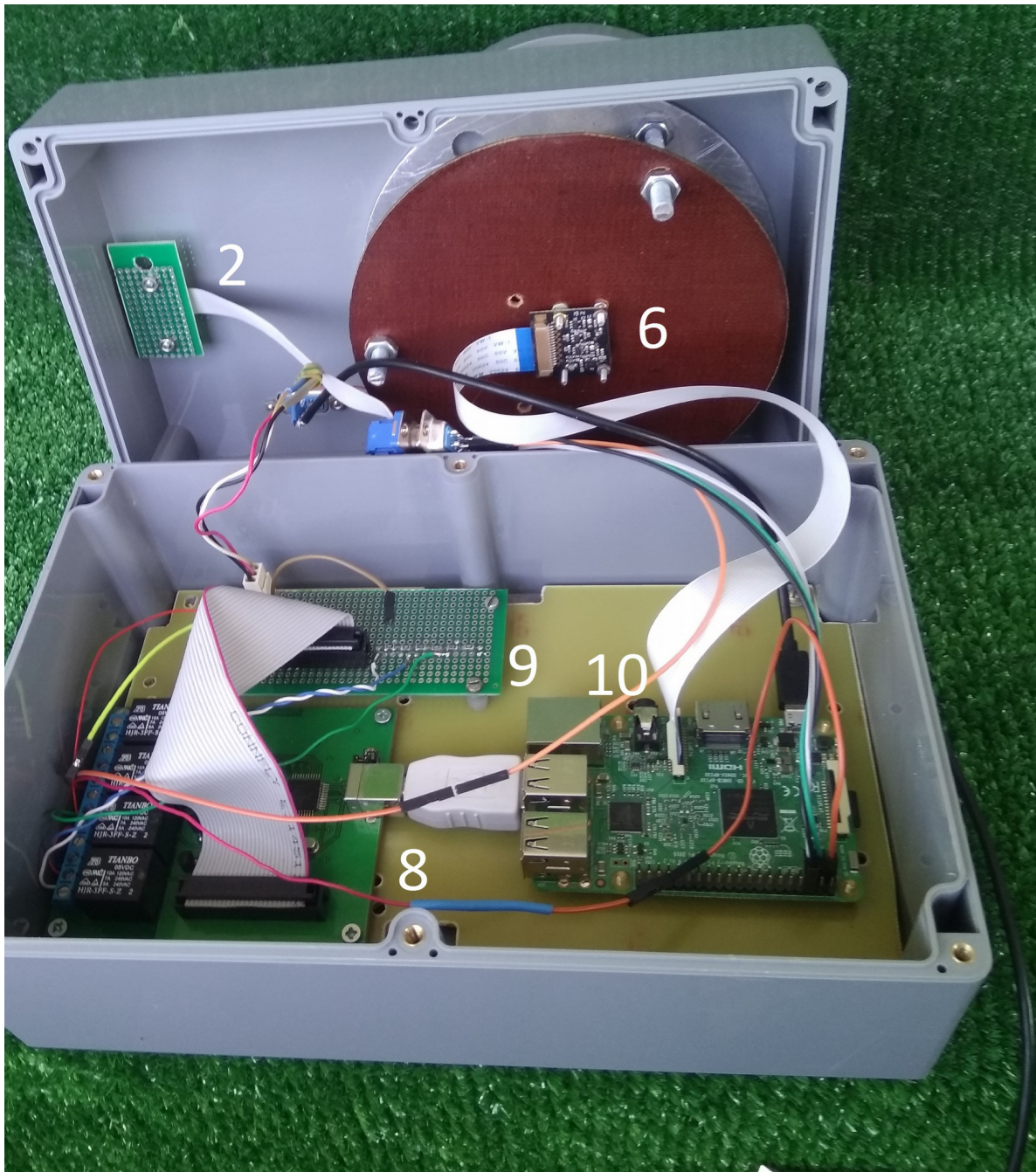
Спецификация термоэлектрической матрицы:

Technology n-poly/p-poly SiElement Resistance approx. 300 kOhms
Sensitivity approx. 450 V/W without optics and filter
Thermal pixel time constant <4 ms
Digital Interface IIC
Analog Output No
selectable Clock 1 to 13 MHz
EEPROM size 64 kBit
Pitch 90 μm
Absorber size 77 μm
Max. Framerate 60 Hz
(complete frame with maximum IIC and sensor clock speed and reduced ADC resolution)
1024 sensitive elements

Оптическая спецификация ИК-приемника:

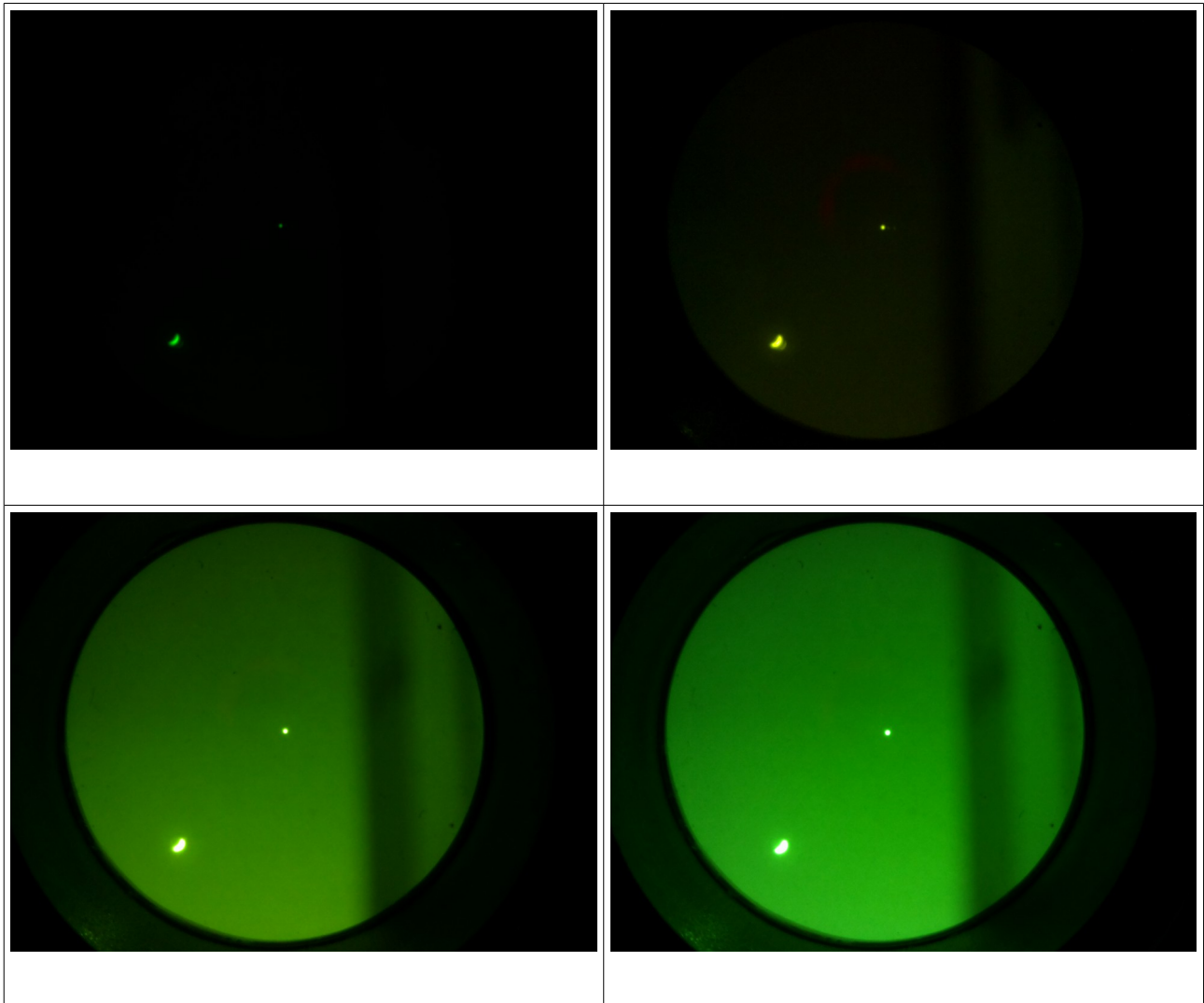
Focal length: 2.1 mm ("L" equals the focal length of the lens)
F-Number: 0.8
Field of view: 90 x 90 deg
Lens coating: AR-Coating; average reflectance per surface
< 3% for $8\mu\text{m} < \lambda < 11.5\mu\text{m}$
Environment acc. for MIL-C-48497

Управление камерой осуществляется микрокомпьютером Raspberry и модулем Ke-USB24R (KernelChip). Используется операционная система Linux с программой управления на языке Python. Связь с микрокомпьютером осуществляется удаленно по беспроводному каналу WiFi с возможностью подключения к сети Internet. При этом реализуется дистанционное управление камерой и автоматическая запись информации на внешний сервер для последующего анализа.



2 – инфракрасный канал; 6 – оптическая матрица; 8 – модуль Ke-USB24R; 9 – плата питания ЭОП; 10 – микрокомпьютер Raspberry.

В процессе проверки и тестирования камеры были получены изображения Луны и Венеры с разными усилениями ЭОП.



Луна и Венера.

Угловое расстояние между ними 6.5° , экспозиция 0.26 с.

К сожалению, в связи с эпидемиологической ситуацией, установку камеры для съемки морского горизонта пришлось перенести на 2021 год.

Первоначально работа поддерживалась грантом РФФИ 12-08-00863-а (Оценка возможностей использования цифровых карт профиля поверхности в монокулярных системах технического зрения оптического и ИК-диапазонов для решения задач навигации и ориентации летательных аппаратов).

Литература:

[1] "Iran–U.S. RQ-170 incident has defense industry saying 'never again' to unmanned vehicle hacking". URL:

<https://www.militaryaerospace.com/computers/article/16715072/iranus-rq170-incident-has-defense-industry-saying-never-again-to-unmanned-vehicle-hacking>

[2] "GPS jamming is a growing threat to satellite navigation, positioning, and precision timing". URL:

<https://www.militaryaerospace.com/unmanned/article/16714759/gps-jamming-is-a-growing-threat-to-satellite-navigation-positioning-and-precision-timing>

[3] "LORAN compromise to allow further DOD jamming of GPS". URL:

<https://www.militaryaerospace.com/home/article/16705944/loran-compromise-to-allow-further-dod-jamming-of-gps>

[4] "Air Force combat aircraft face a growing need for GPS and PNT security to protect targeting and networking". URL:

<https://www.militaryaerospace.com/sensors/article/14184710/pnt-gps-security>

[5] "Three companies set sights on precision navigation that works independently of GPS". URL: <https://www.militaryaerospace.com/rf-analog/article/16713981/three-companies-set-sights-on-precision-navigation-that-works-independently-of-gps>

- [6] "DARPA takes another look at precise positioning without GPS in upcoming STOIC program". URL:
<https://www.militaryaerospace.com/unmanned/article/16718988/darpa-takes-another-look-at-precise-positioning-without-gps-in-upcoming-stoic-program>
- [7] "DARPA asks industry for ideas on augmenting inertial navigation with non-GPS technologies". URL:
<https://www.militaryaerospace.com/communications/article/16718921/darpa-asks-industry-for-ideas-on-augmenting-inertial-navigation-with-nongps-technologies>
- [8] "DARPA eyes inertial navigation technology for GPS-denied environments". URL: <https://www.militaryaerospace.com/defense-executive/article/16721823/darpa-eyes-inertial-navigation-technology-for-gpsdenied-environments>
- [9] "DARPA eyes photonic integrated circuits for non-GPS position, navigation, and timing (PNT)". URL:
<https://www.militaryaerospace.com/computers/article/16726508/darpa-eyes-photonic-integrated-circuits-for-nongps-position-navigation-and-timing-pnt>
- [10] "Optical Celestial Navigation". URL:
<http://www.opci.com/technologies/optical-celestial-navigation/>
- [11] "Optimal attitude and position determination by integration of INS, star tracker, and horizon sensor". URL:
<https://ieeexplore.ieee.org/document/6819121>
- [12] Маслов И.А., Гришин В.А. Выбор оптимального спектрального диапазона для наблюдения горизонта Земли // Техническое зрение. 2013. № 1. С. 2-4. URL:
[http://magazine.technicalvision.ru/public ftp/issue_1\(1\)/%D0%A2%D0%B5%D1%85.%D0%B7%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_1.pdf](http://magazine.technicalvision.ru/public ftp/issue_1(1)/%D0%A2%D0%B5%D1%85.%D0%B7%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_1.pdf)