

**АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОАППАРАТУРЫ,
ИСПОЛЬЗУЕМОЙ НА РС МКС В ПЕРИОД 2001–2021 ГГ.,
ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ВИЗУАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ
ОБЪЕКТОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ.
ОСОБЕННОСТИ ФОТОСЪЕМКИ
СО СВЕРХДЛИННОФОКУСНОЙ ОПТИКОЙ**

Г.Д. Орешкин, А.Н. Прокопенко, А.Н. Ядренцев, А.В. Кошенко,
В.В. Коротких, Н.Р. Солодов

Канд. техн. наук, доцент Г.Д. Орешкин; А.Н. Прокопенко;
А.Н. Ядренцев; А.В. Кошенко; В.В. Коротких; Н.Р. Солодов
(ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

В статье выполнен анализ характеристик цифровых фотокамер (ЦФК) с набором сменных объективов и телеконвертеров, которые входят в состав штатного оборудования РС МКС и используются с 2001 года по 2021 год российскими космонавтами для выполнения визуальных наблюдений за поверхностью Земли в интересах экологического обследования районов деятельности различных объектов, отработки методов наблюдения, оценки и прогноза развития потенциально опасных и катастрофических явлений. Представлены особенности фотосъемки наземных объектов со сверхдлиннофокусной оптикой.

Ключевые слова: Международная космическая станция, фотоаппаратура, объекты земной поверхности, длиннофокусная оптика, экспозиция, апертура, светочувствительность, выдержка затвора, разрешение фотоматрицы.

**Performance Analysis of Photographic Equipment Used on the
ISS RS from 2001 to 2021 to Perform Visual Observations of the
Earth's Surface. Features of Photographic Recording Using
Ultra-Long Focus Optics. G.D. Oreshkin, A.N. Prokopenko,
A.N. Yadrentsev, A.V. Koshenko, V.V. Korotkikh, N.R. Solodov**

The paper analyzes the characteristics of digital cameras with a set of interchangeable lenses and extenders, which were part of the ISS RS standard equipment from 2001 to 2020 and were used by Russian cosmonauts to perform visual observations of the Earth's surface in the interests of environmental examination of various areas and objects, improvement of methods of observation, evaluation and forecast of potentially hazardous or catastrophic phenomena. The paper also presents the features of photographic recording of ground objects using ultra-long focus optics.

Keywords: International Space Station, photographic equipment, objects on the Earth's surface, long-focal-length optics, exposure, aperture, photosensitivity, shutter speed, photomatrix resolution.

Выполнение российскими космонавтами визуальных наблюдений за поверхностью Земли с использованием оптико-электронной аппаратуры методами дистанционного зондирования (ДЗ) для экологического обследования районов деятельности различных объектов, отработки методов наблюдения, оценки и прогноза развития потенциально опасных и катастрофических явлений является составной частью российской научной программы, выполняемой на РС МКС.

Для выполнения данных задач одним из видов оптико-электронной аппаратуры являются цифровые фотокамеры (ЦФК), которые входят в состав штатного оборудования РС МКС. Космонавты пользуются фотокамерами фирмы *Nikon* еще со времен орбитальной станции «Мир», которая функционировала с 1986 года по 2001 год.

В настоящее время на РС МКС находится профессиональная фотоаппаратура (ФА), состоящая из ЦФК с набором сменных объективов и телеконвертеров и позволяющая выполнять фотосъемку объектов земной поверхности с высоким разрешением через иллюминаторы РС МКС.

Постоянное совершенствование характеристик ФА для выполнения визуальных наблюдений объектов земной поверхности позволило расширить круг задач и значительно улучшить качество получаемых фотоснимков.

Анализ характеристик фотоаппаратуры

С 2001 года на борту РС МКС используются ЦФК серийного производства фирмы *Nikon*. ЦФК оснащаются самыми современными объективами типа *Nikkor* с фокусным расстоянием от 14 до 800 мм, которые имеют превосходные оптические характеристики и исключительно надежны в сложных условиях съемок. При использовании телеконвертеров фокусное расстояние фотографической системы можно увеличить до 1600 мм.

1. Цифровые фотокамеры

Первой моделью, находившаяся в эксплуатации на РС МКС с 2001 года по 2004 год, была профессиональная цифровая однообъективная зеркальная фотокамера *Nikon D1*. Ее особенностью является самая короткая отработываемая выдержка, составляющая 1/16000 с.

На смену этой камеры в конце 2004 года на борт РС МКС была доставлена фотокамера *Nikon D1x*. В ней было реализовано пространство цветов *sRGB* и *AdobeRGB*, что являлось значительным улучшением характеристик цветопередачи.

В начале 2007 года в бортовой комплект фотооборудования РС МКС была введена очередная модель ЦФК *Nikon D2x* – это однообъективная цифровая зеркальная камера (*DSLR*) со светочувствительной матрицей типа *CMOS* (КМОП).

В 2008 году на смену модели *Nikon D2x* поступила фотокамера *Nikon D3*, которая является первой полнокадровой ЦФК. Она была оборудована новой

системой автофокусировки по 51 точке и позволяла сохранять фотоснимки в форматах *JPEG*, *TIFF* и *NEF (Raw)*.

Фотокамера поддерживала возможность просмотра изображений на экране в режиме реального времени.

В том же 2008 году на борт РС МКС была доставлена вторая полноформатная фотокамера *Nikon D3x*. Ее отличительными особенностями стали новый *CMOS* (КМОП) датчик, увеличенный диапазон *ISO*, новый блок автофокуса, система обработки изображений, 3-дюймовый ЖКИ монитор, режим *LiveView* с автофокусом.

В 2010 году на борту РС МКС была введена в эксплуатацию фотокамера *Nikon D3s*. Ее основной особенностью являлось доработанная матрица от *Nikon D3* с очень низкими показателями шумов на высоких *ISO*.

Эта фотокамера стала первой репортажной камерой от *Nikon* с возможностью съемки *HD*-видео.

В середине 2014 года на борт РС МКС была доставлена фотокамера *Nikon D 800E*. Она обладала наибольшим разрешением среди малоформатных фотокамер. При этом увеличение разрешения привело к уменьшению скорости съемки. Эта фотокамера стала первой фотокамерой с разъемом *USB 3.0*.

В этом же 2014 году бортовой комплект фотоаппаратуры РС МКС пополнился цифровой зеркальной фотокамерой *Nikon D4*. Это репортажная профессиональная ЦФК со скоростью съемки до 11 кадров/с. Она стала первой в мире фотокамерой, поддерживающей карты памяти стандарта *XQD*.

В апреле 2017 года на борт МКС была доставлена фотокамера нового поколения *Nikon D5*. Для этой модели абсолютным рекордом стала максимальная светочувствительность для серийных фотокамер.

Матрица фотокамеры генерирует файлы фотоизображений с максимальным разрешением и позволяет записывать видео сверхвысокой четкости формата *4K*. Система автофокуса нового поколения обеспечивает фокусировку по 153 точкам.

К своему 100-летию фирма «*Nikon*» в сентябре 2017 года выпустила новую модель фотокамеры – *Nikon D850* (рис. 1), в которую вложила все лучшее, что накопилось за последние годы. В середине 2018 года эта фотокамера была доставлена на борт РС МКС.



Рис. 1. Фотокамера *Nikon D850*

Таким образом, в период с 2001 года по 2021 год на борту РС МКС были использованы 10 моделей ЦФК серийного производства фирмы «Nikon». Их основные характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики ЦФК *Nikon*, используемых на борту РС МКС в период 2001–2021 гг.

ЦФК <i>Nikon</i>	Размер матрицы, мм	Разрешение матрицы, Мп	Размер фотоснимка, pixel	Диапазон регулировки чувствительности, ISO	Скорость серийной съемки, кадров/с	Наличие видео-режима
<i>D1</i>	23,7×15,5	2,6	2000×1312	200–1600	3	–
<i>D1x</i>	23,7×15,5	5,3	3008×1960	125–800	3	–
<i>D2x</i>	23,7×15,5	12,2	4288×2848	50–800	3	–
<i>D3</i>	35,9×24	12,1	4259×2839	200–6400	9	–
<i>D3x</i>	35,9×24	24,5	6048×4032	200–1600	6	–
<i>D3s</i>	35,9×24	12,1	4259×2839	200–12 800 («Hi-3» – 102 800)	9	–
<i>D800E</i>	35,9×24	36	7360×4912	50–6400 («Hi-3» – 25 600)	6	HD
<i>D4</i>	35,9×24	16,2	4928×3280	50–12 800 («Hi-3» – 102 800)	11	HD
<i>D5</i>	35,9×24	20,8	5568×3712	50–25 600 («Hi-5» – 3 280 000)	12	4K
<i>D850</i>	35,9×24	45,7	8256×5504	50–25 600 (Expanded ISO – 102 400)	9	4K

На диаграммах (рис. 2–4) представлены изменения одних из основных характеристик ЦФК за указанный период, которые существенно влияют на качество получаемых фотоснимков. К ним относятся максимальная чувствительность матрицы, максимальное разрешение матрицы и максимальная скорость съемки.

Анализ тенденций роста максимальной чувствительности матриц показал, что относительно плавное увеличение этого параметра в период 2001–2014 гг. сменилось четырехкратным увеличением за относительно короткий трехгодичный период (2014–2017 гг.).

Уровень 100 000 единиц ISO уже сейчас покрывает все запросы космонавтов-операторов, выполняющих визуальные наблюдения с использованием длиннофокусной оптики.

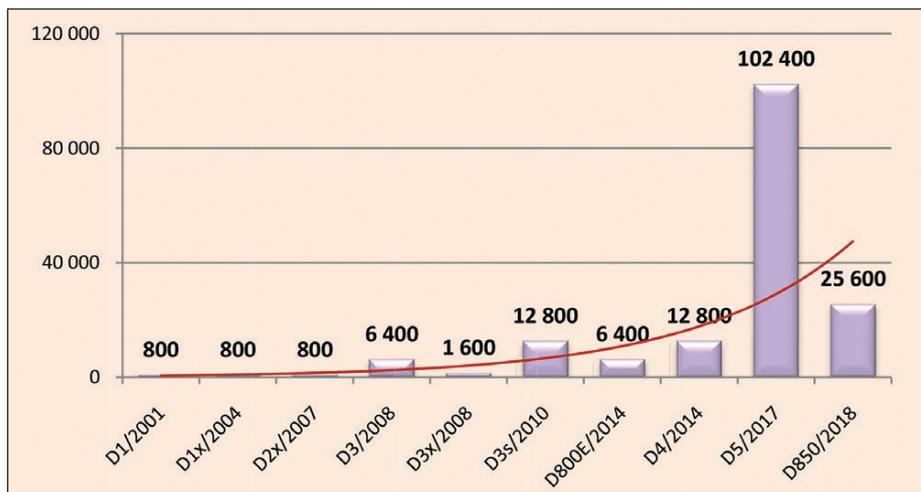


Рис. 2. Изменения максимальной чувствительности матриц бортовых ЦФК, используемых на РС МКС

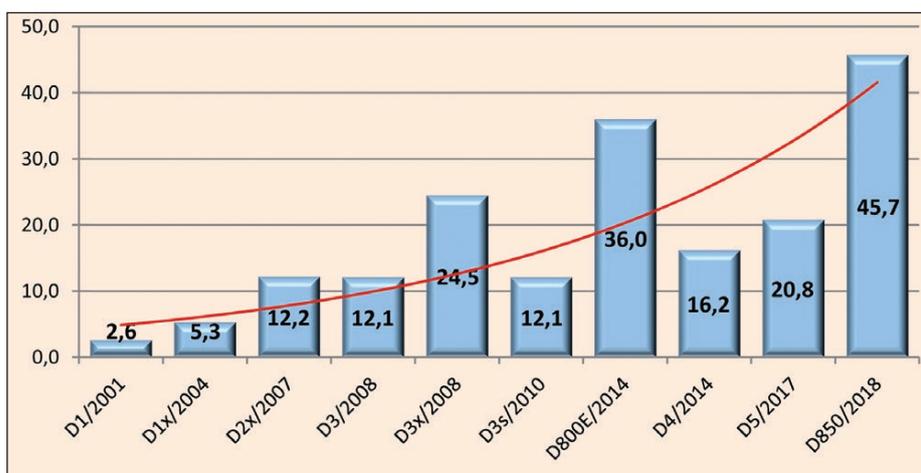


Рис. 3. Изменения максимального разрешения матриц бортовых ЦФК, используемых на РС МКС

Однако, учитывая тенденцию увеличения главного фокусного расстояния объективов, используемых при выполнении дистанционного зондирования, дальнейший рост этого параметра более чем желателен.

С 2001 года по 2018 год максимальное разрешение матриц росло ступенчато (рис. 3). При этом полный цикл развития (рост – стабилизация) занимал от 4 до 5 лет, а величина максимального разрешения матриц вырастала в 1,5–2 раза. Если данная тенденция сохранится, то к 2024 году будет реализован очередной цикл прироста этого параметра (приблизительно в 2 раза).

С 2001 года по 2018 год изменения максимальной скорости в серии (кадр/с) происходило практически линейно (рис. 4). К 2017 году этот параметр вырос более чем в четыре раза. Это позволяет надеяться, что в последующие полтора десятилетия тенденция роста сохранится и следует ожидать появления ЦФК с максимальной скоростью в серии до 24 кадр/с.

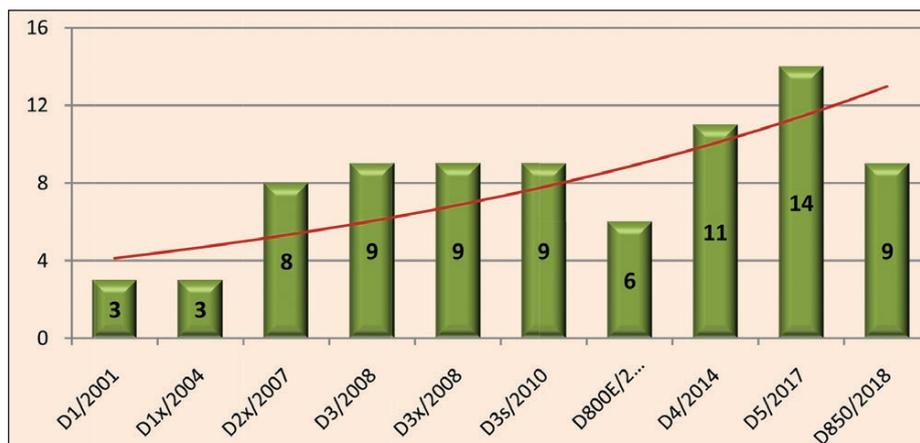


Рис. 4. Изменения максимальной скорости в серии (кадр/с) бортовых ЦФК, используемых на РС МКС

2. Фотообъективы и телеконвертеры

В настоящее время особенностью выполнения визуальных наблюдений наземных объектов экипажами МКС является преимущественное использование длиннофокусной и сверхдлиннофокусной оптики.

Первым длиннофокусным фотообъективом, примененным для фотосъемки наземных объектов, был объектив *Nikon AF-S Nikkor 400 mm f/2.8 D* (рис. 5, а). В «связке» с телеконвертером *Nikon TC-20E* (рис. 6, в) фокусное расстояние фотографической системы увеличивается до 800 мм.

С 2008 года на борту РС МКС в эксплуатацию был введен сверхдлиннофокусный объектив с переменным фокусным расстоянием *Sigma DG APO 300-800 mm f/ 5.6 EX HSM 9* (рис. 5, б).

В 2010 году на борт РС МКС был доставлен сверхдлиннофокусный объектив *Nikon AF-S Nikkor 600 mm f/ 4 G ED VR* (рис. 5, в). В «связке» с телеконвертером *Nikon TC-20E* фокусное расстояние фотографической системы увеличивалось до 1200 мм.

С 2017 году на борту РС МКС используется сверхдлиннофокусный объектив *Nikon AF-S Nikkor 800 mm f/ 5.6 G ED VR* (рис. 5, г). В комплекте с телеконвертером *Nikon TC 800-1,25E* фокусное расстояние фотографической системы составляет 1000 мм, при использовании телеконвертера *Nikon TC-20E* фокусное расстояние увеличивается до 1600 мм. При этом фокусировка такой системы возможна только в ручном режиме.

а) *AF-S Nikkor 400 mm f/2.8 D*б) *Sigma DG APO 300-800 mm f/ 5.6 EX HSM 9*в) *AF-S Nikkor 600 mm f/ 4 G ED VR*г) *AF-S Nikkor 800 mm f/ 5.6 G ED VR*

Рис. 5. Объективы из съемочного комплекта РС МКС

Телеконвертеры (рис. 6) используются на борту РС МКС еще со времен «пленочных» фотокамер. Они предназначены для увеличения фокусного расстояния объективов, в «связке» с которыми они работают. Побочным эффектом (недостатком) такой «связки» является падение светосилы. Оно происходит в той же пропорции, что и увеличение фокусного расстояния.

В настоящее время на борту РС МКС для выполнения визуальных наблюдений используются следующие телеконвертеры:

1. *Nikon TC 800-1,25E* (рис. 6, а).
2. *Nikon TC-17E* (рис. 6, б).
3. *Nikon TC-20E* (рис. 6, в).

а) *TC 800-1,25E*б) *TC-17E*в) *TC-20E*Рис. 6. Телеконвертеры *Nikon*

Особенности фотосъемки ЦФК со сверхдлиннофокусной оптикой

При выполнении фотосъемки космонавт должен обеспечить оптимальное экспонирование матрицы ЦФК [1].

Согласно закону Бунзена-Роско, оптимальная фотографическая экспозиция H_{opt} определяется следующей зависимостью:

$$H_{opt} = S_M \times E_M \left(\frac{1}{d^2} \right) \times t, \quad (1)$$

где S_M – эквивалентная светочувствительность матрицы в ед. *ISO*; E_M – освещенность фотоматрицы; d – относительное отверстие объектива; t – выдержка затвора фотоаппарата в секундах.

Если текущая экспозиция H равна оптимальной H_{opt} , то динамический диапазон (ДД) $D_R(E_V)$ матрицы максимален для данных условий фотосъемки и, как следствие, оптимальны разрешающая способность матрицы R_M , яркость, контраст и цветопередача фотоснимка в полутонах (рис. 7) [2, 3].

Величина ДД D_R непосредственно зависит от текущего значения эквивалентной светочувствительности матрицы S_M (рис. 8).



Рис. 7. Оптимально экспонированный фотоснимок ($H = H_{opt}$)

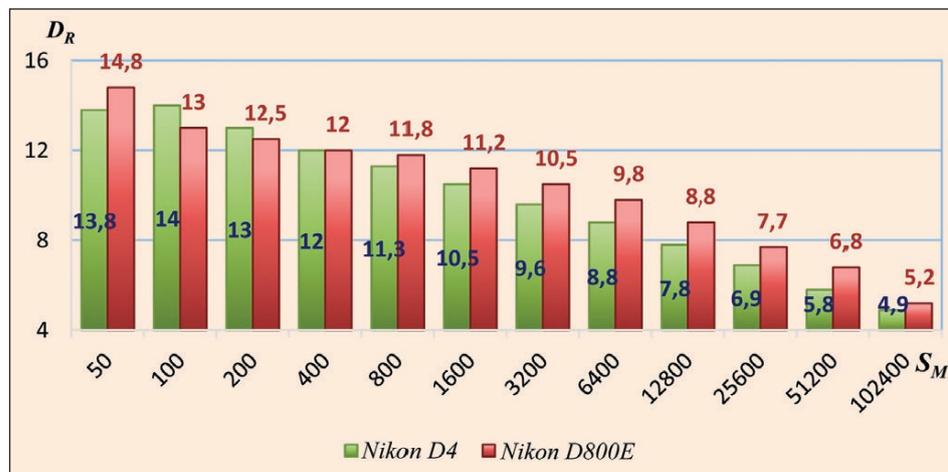


Рис. 8. Зависимость ДД D_R фотоматриц ЦФК *Nikon D4* и *Nikon D800E* от эквивалентной светочувствительности S_M

Помимо этого, от текущего значения эквивалентной светочувствительности матрицы S_M зависит еще один важный параметр – уровень ее собственных шумов N_M (dB) (рис. 9). Он непосредственно влияет на разрешающую способность матрицы R_M [4].

Таким образом, из представленных диаграмм (рис. 8 и 9) следует, что немотивированное увеличение параметра S_M неизбежно приводит к уменьшению параметра ДД D_R и увеличению параметра N_M и, как следствие, уменьшению прямо или косвенно связанных с ним базовых характеристик, влияющих на качество конечного изображения – разрешающей способности матрицы R_M , яркости, контраста и цветопередачи фотоснимка в полутонах.

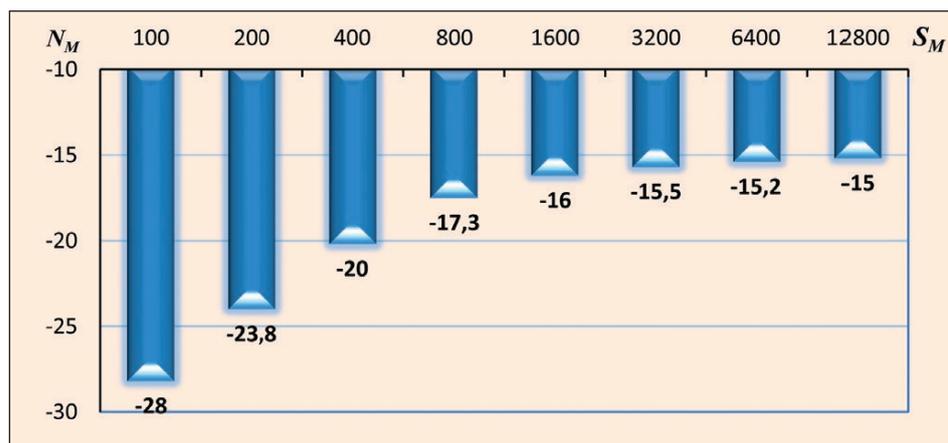


Рис. 9. Зависимость уровня собственных шумов фотоматрицы N_M (dB) ЦФК *Nikon D4* от эквивалентной светочувствительности S_M

Как правило, ДД D_R матрицы заведомо меньше (15–20 E_f) ДД объектов снимаемого сюжета, и задача оператора при выборе экспозиционных параметров заключается в обеспечении текущего значения ДД D_R максимально приближенного к паспортным значениям ЦФК. Это позволяет максимально использовать технические возможности ЦФК, что достигается при $H = H_{opt}$.

В случае, если $H < H_{opt}$ то ДД D_R матрицы уменьшается на величину арифметической разницы между H и H_{opt} . В этой ситуации не оптимальными будут яркость фотоснимка в тенях, его контраст и цветопередача (рис. 10).

При избыточной экспозиции $H > H_{opt}$ ситуация меняется зеркально – не оптимальными будут яркость фотоснимка в светах, его цветопередача и разрешающая способность, а уровень шумов выше нормы (рис. 11).

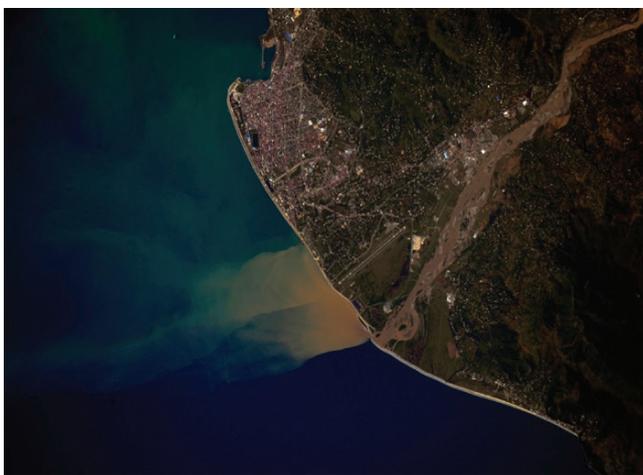


Рис. 10. Фотоснимок с недостаточной экспозицией ($H < H_{opt}$)



Рис. 11. Фотоснимок с избыточной экспозицией ($H > H_{opt}$)

Фотосъемка с борта РС МКС ЦФК со сверхдлиннофокусной оптикой имеет свои особенности [5]:

1. Предельно малый угол поля зрения ($3-2^\circ$) приводит к усложнению процесса поиска объектов фотосъемки и, соответственно, увеличению времени на выполнение этой процедуры.

2. Увеличение фокусного расстояния объективов требует пропорционального уменьшения выдержки затвора ЦФК (для уменьшения «смаза»).

3. Фотосъемка в безопорной среде требует особых навыков для комфортной и стабильной фиксации ЦФК при поиске и фотосъемке объектов.

4. Ограниченное время нахождения объекта в зоне уверенного наблюдения (не более 30 с) требует устойчивых навыков поиска, опознавания и регистрации объектов.

5. Отсутствие устройств компенсации сдвига изображения требует навыков фотосъемки «с проводкой».

6. Неустойчивая работа САФ при больших углах отклонения от надира требует устойчивых навыков фокусировки объективов вручную.

Очевидно, что фотосъемка с использованием сверхдлиннофокусной оптики значительно усложняет получение качественных фотоснимков, что приводит к повышению требований к подготовке космонавтов к выполнению фотосъемки наземных объектов с борта РС МКС.

За период с 2001 года по настоящее время фокусное расстояние фотографической системы выросло с 400 до 1600 мм.

Одним из способов уменьшения «смаза» изображения является максимальное уменьшение выдержки t затвора ЦФК.

Существует эмпирическая формула для определения выдержки при фотосъемке неподвижных объектов длиннофокусной оптикой с рук [6]:

$$t = \frac{1}{f}, \quad (2)$$

где t – выдержка затвора фотоаппарата в секундах; f – текущее фокусное расстояние объектива.

Таким образом, для фотографической системы с фокусным расстоянием 1200 мм выдержка должна быть не длиннее $1/1200$ с, а для 1600 мм – $1/1600$ с.

В современных профессиональных ЦФК приоритет выдержки затвора t обеспечивает режим работы системы автоматического экспонирования (САЭ) – S (приоритет скорости затвора камеры – режим «полуавтомат»). Логика функционирования этого режима заключается в том, что оператор устанавливает вручную значение выдержки t , определенное по формуле (2). Вычислитель ЦФК по формуле (1) рассчитывает оптимальное значение относительного отверстия объектива d при текущих значениях эквивалентной светочувствительности S_M (устанавливается вручную) и освещенности фотоматрицы E_M (измеряется экспонометром ЦФК).

Однако на борту МКС космонавты используют другой режим работы САЭ ЦФК – *A* (приоритет диафрагмы – режим «полуавтомат») [7, 8]. В этом случае относительное отверстие объектива d задается оператором, а вычислитель ЦФК автоматически подбирает «оптимальную» выдержку затвора t , исходя из заданной эквивалентной светочувствительности S_M и освещенности фотоматрицы E_M . В качестве примера на рис. 12 приведен фотоснимок, выполненный в режиме *A*.

Использование этого режима обусловлено тем, что применяемые на борту РС МКС сверхдлиннофокусные объективы *Sigma DG APO 300-800 mm f/5.6 EX HSM 9*, *AF-S Nikkor 600 mm f/4* и *AF-S Nikkor 800mm f/5.6* предназначены для работы при низких уровнях освещенности снимаемого объекта, что предполагает фотосъемку при полностью открытой диафрагме. В этих объективах все типы аберраций сведены к минимуму для значений относительного отверстия объектива d близкого к светосиле.

Недостатком этих настроек является необходимость постоянного контроля текущего значения выдержки затвора t и необходимость ее оперативной ручной регулировки изменением эквивалентной светочувствительности S_M ЦФК. В условиях цейтнота, это снижает вероятность получения качественного фотоснимка исследуемого объекта.



Рис. 12. Вулкан Рейнер (США, шт. Калифорния, р-н Сизтла), МКС-56/57 (С.В. Прокопьев)

Device: Nikon D5, Lens: Sigma 300-800 mm, Focal Length: 360 mm, Aperture: F/8, Shutter Speed: 1/1000s, Exposure Mode: Aperture Priority, ISO Sensitivity: Auto (200)

В 2014 году специалистами Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина были предложены настройки бортовых ЦФК для работы со сверхдлиннофокусными объективами [9]. Съемку предлагается вести не в режиме *A* САЭ ЦФК, а в режиме *M*. Космонавт перед фотосъемкой объекта должен установить оптимальные значения выдержки t (определяется по формуле 2) и диафрагмы d (диафрагма полностью открыта), а регулятор эквивалентной светочувствительности матрицы ЦФК перевести в положение *Auto* (*ISO*). Таким образом оптимальное значение экспозиции H_{opt} достигается автоматическим увеличением (или уменьшением) значения S_M (*ISO*) согласно формуле (1) в зависимости от текущих значений съемочных параметров E_M , d и t .

В качестве примера на рис. 13 и 14 приведены фотоснимки, выполненные с данными параметрами.

Достоинствами новых настроек являются:

1. Автоматическая регулировка эквивалентной светочувствительности матрицы ЦФК S_M (*ISO*), которая уменьшает количество бракованных фотоснимков.

2. Автоматизация процесса регулировки эквивалентной светочувствительности матрицы S_M (*ISO*), позволяющая космонавту сократить время на рутинные подготовительные операции и сосредоточиться на процессе поиска и, собственно, фотосъемки наземных объектов.



Рис. 13. Пожар в районе Сан-Диего (США, шт. Калифорния), МКС-63 (И.В. Вагнер)

Device: Nikon D5, Lens: Nikkor VR 800 mm f 5,6; Focal Length: 1600 mm, Aperture: F/11, Shutter Speed: 1/3200s, Exposure Mode: Manual, ISO Auto (1400)



Рис. 14. Вынос р. Мзымта (г. Сочи), МКС-54/55 (А.Н. Шкаплеров)

Device: Nikon D5, Lens: Nikkor VR 800 mm f 5,6; Focal Length: 1600 mm, Aperture: F/11, Shutter Speed: 1/5000s, Exposure Mode: Manual, ISO Auto (2500)

К недостаткам новых настроек следует отнести следующие:

1. Настройки позволяют получать качественные фотоснимки лишь в ситуациях, когда интегральный коэффициент отражения снимаемого сюжета близок к 18 % (фотоприемники современных экспонометров откалиброваны для выполнения корректных измерений освещенности снимаемого объекта с эталонной «средне серой» поверхности с коэффициентом отражения 18 %).
2. При низкой освещенности снимаемого сюжета вычислитель ЦФК увеличивает эквивалентную светочувствительность матрицы S_M (ISO) до значений, приводящих к большим уровням собственных шумов и, как следствие, к полной деградации получаемого изображения. В этих условиях полноценный анализ фотоснимка становится невозможным.

Выводы

1. Анализ характеристик ЦФК с набором сменных объективов и телеконвертеров, используемых на борту РС МКС в период с 2001 года по 2021 год, показал, что их характеристики значительно улучшились:
 - максимальное значение светочувствительности матрицы ЦФК (при приемлемом уровне собственных шумов матрицы) увеличилось в 128 раз;
 - максимальное разрешение матрицы (при приемлемом уровне собственных шумов матрицы) увеличилось в 17,7 раза;
 - максимальное значение скорости съемки в серии (кадр/с) увеличилось в 4,7 раза.

Улучшение характеристик ЦФК позволило значительно повысить качество фотоснимков, полученных при выполнении визуальных наблюдений поверхности Земли с использованием сверхдлиннофокусной оптики.

2. Фотосъемка ЦФК со сверхдлиннофокусной оптикой с борта РС МКС накладывает свои особенности:

- предельно малый угол поля зрения ($3-2^\circ$) приводит к усложнению процесса поиска объектов фотосъемки;
- увеличение фокусного расстояния объективов требует пропорционального уменьшения выдержки затвора ЦФК;
- фотосъемка в безопорной среде требует особых навыков для комфортной и стабильной фиксации ЦФК при поиске и фотосъемке объектов;
- ограниченное время нахождения объекта в зоне уверенного наблюдения требует устойчивых навыков поиска, опознавания и регистрации объектов;
- отсутствие устройств компенсации сдвига изображения требует навыков фотосъемки «с проводкой»;
- неустойчивая работа САФ при больших углах отклонения от надира требует устойчивых навыков ручной фокусировки объективов.

3. Постоянное совершенствование фотоаппаратуры и особенности фотосъемки наземных объектов с борта РС МКС с использованием сверхдлиннофокусной оптики накладывают соответствующие требования к уровню подготовленности космонавтов, что, в свою очередь, требует постоянного и своевременного обновления методической и учебной документации для их подготовки.

4. Своевременно разработанные специалистами Центра подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина методики организации и проведения фотосъемки, учебные пособия, а также предложения по корректировке бортовой документации позволяют успешно решать задачи визуальных наблюдений наземных объектов с борта РС МКС.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Живичин А.Н., Соколов В.С. Дешифрирование фотографических выражений. – М.: Недра, 1980. – 253 с.
- [2] Лурье И.К., Косиков А.Г. Теория и практика цифровой обработки изображений / Дистанционное зондирование и географические информационные системы. – М.: Научный мир, 2003. – 186 с.
- [3] Рис У.Г. Основы дистанционного зондирования. – М.: Техносфера, 2006. – 336 с.
- [4] Веселов Ю.Г., Глушко В.А., Молчанов А.С. Математическая модель аэрофото-системы, построенной на основе фоточувствительных приборов с переносом заряда // Наука и образование. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. – Вып. 10.
- [5] Особенности фотосъемки земной поверхности длиннофокусными объективами. Методические подходы / Солодов Н.Р., Степанов Э.Н., Прокопенко А.Н., Ядренцев А.Н. // Сборник материалов XI Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос». – Звездный городок, 2015.
- [6] Веселов Ю.Г., Островский А.С., Сельвесюк Н.И. Анализ факторов, влияющих на эффективность оптико-электронных комплексов получения видовой информации // Сборник статей XXV Всероссийской конф. «Прием, передача, обработка и отображение информации о быстропротекающих процессах» (Сочи, 6–10 октября 2014 г.). – М.: РПА «АПР», 2014.

- [7] Орешкин Г.Д., Ядренцев А.Н., Севериненко А.В. Результаты выполнения КЭ «Экон-М» космонавтом Мисуркиным А.А. в составе экипажа МКС-53/54 // Пилотируемые полеты в космос. – 2018. – № 3(28). – С. 34–44.
- [8] Основные результаты подготовки и деятельности экипажа МКС-60/61 при выполнении программы космического полета / Скворцов А.А., Орешкин Г.Д., Кондрат А.И., Медведев А.А., Сабуров П.А. // Пилотируемые полеты в космос. – 2020. – № 2(35). – С. 5–22.
- [9] Анализ деятельности космонавтов при выполнении фотосъемки земной поверхности в рамках КЭ «Экон-М» / Солодов Н.Р., Прокопенко А.Н., Орешкин Г.Д., Ядренцев А.Н., Коротких А.Н. // Сборник материалов XII Международной научно-практической конференции «Пилотируемые полеты в космос». – Звездный городок, 2017.

REFERENCES

- [1] Zhivichin A.N., Sokolov V.S. Interpretation of Photographic Expressions. – Moscow: “Nedra” Publishing House, 1980. – p. 253.
- [2] Lurie I.K., Kosikov A.G. Theory and Practice of Digital Image Processing / Remote Sensing and Geographic Information Systems. – Moscow: “Nauchny Mir” Publishing House, 2003. – p. 186.
- [3] Ris.U.G. Remote Sensing Basics. – Moscow: “Tekhnosfera” Publishing House, 2006. – p. 336.
- [4] Veselov Yu.G., Glushko V.A., Molchanov A.S. Mathematical Model of an Aerial Photosystem Built Upon the Photosensitive Charge-Transfer Devices // Science and Education. – Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 2013. – Issue. 10.
- [5] Features of Photographing the Earth’s Surface with Long-Focal-Length Cameras. Methodological Approaches / Solodov N.R., Stepanov E.N., Prokopenko A.N., Yadrentsev A.N. // Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference “Manned Space Flights”. – Star City, 2015.
- [6] Veselov Yu.G., Ostrovsky A.S., Selvesyuk N.I. Analysis of Factors Affecting the Efficiency of Optoelectronic Systems for Obtaining Imagery Information // Proceedings of the XXV All-Russian Conference. Reception, Transmission, Processing and Display of Information About Fast Processes (Sochi, October 6–10, 2014). – Moscow: RPA “APR”, 2014.
- [7] Oreshkin G.D., Yadrentsev A.N., Severinenko A.V. Results of Implementing the “Ekon-M” Space Experiment Program by A.A. Misurkin, a Member of the ISS Crew for Expedition 53/54 // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2018. – No 3(28). – pp. 34–44.
- [8] Main Results of Training and Activity of the ISS-60/61 Crew Members When Carrying Out the Mission Plan / Skvortsov A.A., Oreshkin G.D., Kondrat A.I., Medvedev A.A., Saburov P.A. // Scientific Journal “Manned Spaceflight”. – 2020. – No 2(35). – pp. 5–22.
- [9] Analysis of the Cosmonauts’ Activities When Photographing the Earth’s Surface Within the Framework of the SE “Ekon-M” / Solodov N.R., Prokopenko A.N., Oreshkin G.D., Yadrentsev A.N., Korotkikh A.N. // Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference “Manned Space Flights”. – Star City, 2017.