

## НОВЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКАМ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

© 2009 г. А. Б. Бельский, канд. техн. наук; С. Е. Здор, канд. техн. наук;  
В. И. Колинко, канд. техн. наук; Н. Г. Яцкевич

ОАО “Красногорский завод им. С.А. Зверева”, г. Красногорск, Московская обл.

E-mail: kolinko@zenit.istra.ru

Рассмотрена проблема мониторинга космического пространства в оптическом диапазоне длин волн. Кратко описаны оптические и оптико-электронные средства мониторинга, созданные в ОАО “Красногорский завод им. С.А. Зверева”. Приведено описание передвижной станции, предназначенной для работы в обзорно-поисковом и следящем режимах.

Коды OCIS: 350.1260

*Поступила в редакцию 11.02.2009*

### Введение

Практическое освоение космоса действительно требует оперативного, детального и достоверного мониторинга околоземного космического пространства. В настоящее время возможностью постоянного мониторинга обладают только две страны – Россия и США, в которых созданы и длительное время функционируют национальные системы контроля космического пространства (СККП) [1, 2]. Создается европейская система контроля и несколько национальных систем.

### Задача СККП

СККП должна обеспечить обзор, поиск, наблюдение, получение координатной и некоординатной информации об искусственных небесных телах в околоземном космосе. Выделим практическую направленность задач СККП.

#### 1. Контроль текущей космической обстановки.

Оперативный поиск, обнаружение и измерение положения и видимого блеска известных и неизвестных космических объектов (КО) искусственного происхождения; установление их класса, назначения, текущего состояния и национальной принадлежности; пополнение и поддержание каталогов объектов.

2. Эксплуатация спутниковых систем. Наблюдение за космическими аппаратами (КА) кон-

кретного класса на этапах запуска, выведения, разделения, стыковки, маневра; оценка состояния аппаратов, контроль их функционирования в штатных и нештатных режимах, выявление аварийных ситуаций; поиск потерянных аппаратов и аппаратов, запущенных на нерасчетные орбиты.

3. Космическая экология. Поиск и наблюдение элементов космического мусора; оценка “засоренности” околоземного космического пространства; оценка опасности, исходящей от элементов космического мусора.

4. Космическая геодезия. Наблюдение космических объектов с целью построения спутниковой геодезической сети, изучения фигуры Земли и др.

5. Космическое право. Наблюдение объектов искусственного происхождения с целью проверки соблюдения международных договоров и соглашений по использованию околоземного космического пространства.

6. Астероидно-кометно-метеоритная опасность. Поиск, наблюдение и сопровождение естественных небесных тел, находящихся на подлетных траекториях и опасно сближающихся с Землей; оценка исходящей от них угрозы.

Средства мониторинга космического пространства включают оптические, радиолокационные и квантово-оптические системы. Основными по объему и качеству получаемой информа-

ции являются оптико-электронные средства, в том числе и разработки Красногорского завода им. С.А. Зверева.

Кратко остановимся на двух действующих системах.

Первая – это высокоточная астрономическая установка (ВАУ), предназначенная для фотографического наблюдения искусственных спутников Земли (ИСЗ).

В разработке и создании ВАУ принимали участие ГОИ им. С.И. Вавилова, Астросовет АН СССР и ряд других учреждений страны. Общий вид ВАУ приведен на рис. 1. ВАУ имеет объектив с действующим отверстием 500 мм, фокусным расстоянием 700 мм, полем зрения  $5 \times 30$  градусов и диаметром кружка рассеяния 0,03 мм. Объектив установлен на трехосной параллактической монтировке, которая позволяет отслеживать небесные тела с угловыми скоростями от 0 до 1,66 град/с.

С помощью ВАУ обеспечивалось фотографическое наблюдение ИЗС, находящихся на околоземных орбитах вплоть до геостационарных и имеющих блеск до  $15^m$  [3]; при этом было

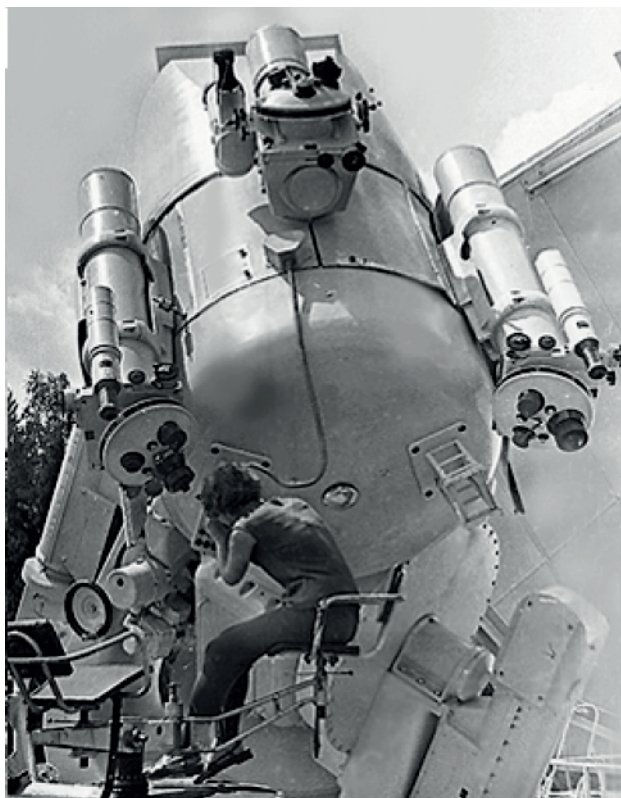


Рис. 1. Высокоточная астрономическая установка.

получено более 100 тысяч снимков, что явилось основой для создания отечественного каталога геостационарных космических объектов.

Вторая – это оптико-электронный комплекс “Окно”, предназначенный для контроля космического пространства на принципиально новом уровне. Комплекс является стационарным пассивным средством, работающим в видимой области спектра в ночное и сумеречное время суток при наличии оптической видимости. Носителем сигнала о космических объектах является отраженное от их поверхности солнечное излучение.

Основные функциональные системы комплекса “Окно”:

- обнаружение космических объектов – это поисковые станции, специализированные по диапазонам высот;

- сбор координатной и некоординатной информации о космических объектах – измерительные станции, специализированные по диапазонам высот;

- измерение астроклиматических параметров, зенитной прозрачности атмосферы, уровня распределенного фона неба, метеопараметров.

Автоматизация работы комплекса обеспечивается специальными программами, реализующими управление комплексом на аппаратурном, станционном и общекомплексном уровнях, а также обработку информации в реальном времени. Вид комплекса на позиции показан на рис. 2.

Назначение станций [4].

1) Поисковая оптико-электронная станция обнаружения стационарных космических объектов предназначена для автономного (без целеуказаний) поиска и обнаружения космических объектов на геостационарных и высокоэллиптических орбитах. В состав станции входят автоматизированный телескоп, высокочувствительная телевизионная аппаратура, средства управления и обработки информации. Телескоп базируется на азимутальном трехосном опорно-поворотном устройстве с гидростатическими опорами по первой и второй осям и для уменьшения вибраций устанавливается в астробашне на бетонной опоре. Общий вид телескопа поисковой станции приведен на рис. 3.

Работа станции. Поиск космических объектов обеспечивается последовательным просмотром (сканированием) зоны контроля полем зрения станции. В каждом цикле поле зрения перебрасывается на соседний участок, затем несколько секунд остается неподвижным, при этом теле-



Рис. 2. Оптико-электронный комплекс “Окно” на позиции. 1 – командно-вычислительный центр, 2 – система обнаружения, 3 – система сбора информации.

визионная аппаратура преобразует оптическое изображение космических объектов, звезд и распределенного фона в электрические сигналы. Видеосигнал поступает в центральную аппаратуру комплекса, где сигналы от космических объектов автоматически обнаруживаются на фоне сигналов от звезд и помех. Отличительным признаком для селекции является различие в видимых угловых скоростях объектов и звезд. По каждому обнаруженному объекту определяются угловые координаты, угловая скорость и блеск. Основные тактико-технические характеристики поисковой станции приведены в табл. 1.

2) Оптико-электронная станция измерения угловых координат и фотометрирования космических объектов предназначена для получения координатной и некоординатной информации о низкоорбитальных КО. Первичное наведение

визирной оси на КО осуществляется по целеуказаниям системы обнаружения или по внешним целеуказаниям. Станция функционирует в следующих режимах:

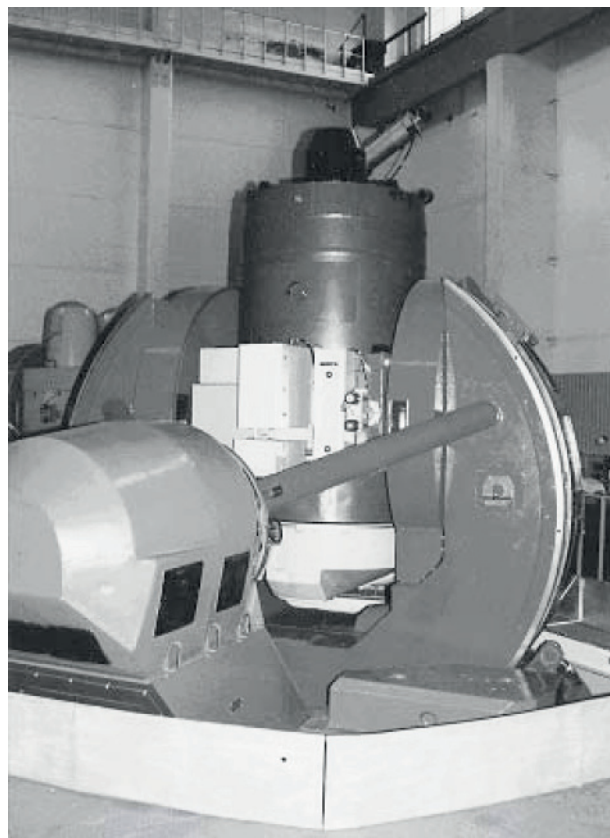


Рис. 3. Телескоп поисковой станции.

Таблица 1. Характеристики поисковой станции

Характеристика	Значение
Зона обзора, угл. град.	
по азимуту	0–360
по углу места	20–90
Рабочая высота, км	
минимальная	30 000
максимальная	40 000
Диаметр светового зрачка объектива, мм	1100
Поисковые возможности, кв. град/ч	500

– измерения при непрерывном автоматическом сопровождении КО,

– дискретные измерения в заданных точках прогнозируемой траектории.

В состав станции входят телескоп, высокочувствительная телевизионная и фотометрическая аппаратура, средства автоматического управления и обработки информации. Конструкция телескопа включает широкопольный и узкопольный объективы. Для регистрации кривой изменения блеска КО используется специальный фотометрический канал. Общий вид телескопа измерительной станции показан на рис. 4.

Высокая координатная точность достигается за счет относительного метода измерения, основанного на использовании опорных звезд, занесенных в звездные каталоги, а точность фотометрирования – за счет высокоточной калибровки по каталожным звездам, а также за счет высокоточного измерения и учета фона. Основные тактико-технические характеристики измерительной станции приведены в табл. 2.

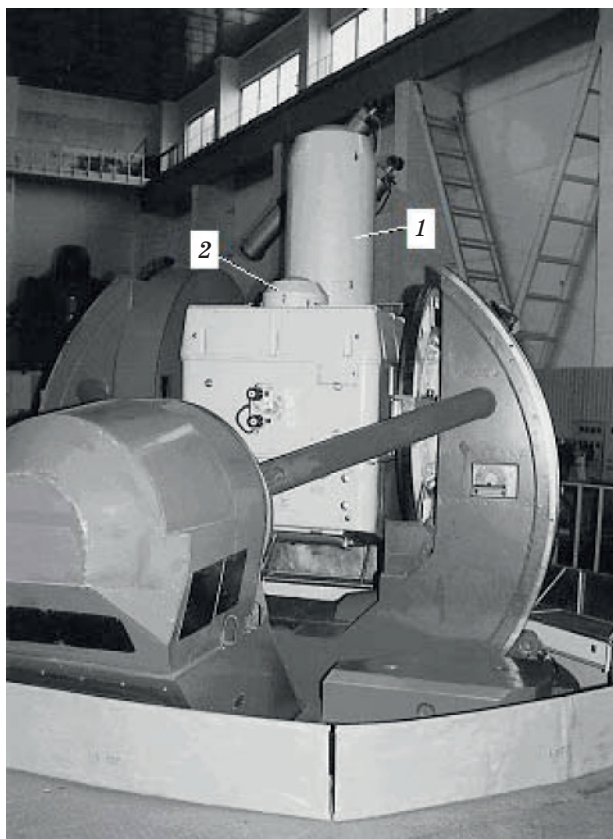


Рис. 4. Телескоп измерительной станции. 1 – узкопольный объектив, 2 – широкопольный объектив.

Таблица 2. Тактико-технические характеристики измерительной станции

Характеристика	Значение
Зона обзора, угл. град. по азимуту	0–360
по углу места	20–90
Диаметр светового зрачка объектива, мм узкопольного	500
широкопольного	235
Максимальная угловая скорость слежения, угл. град/с	3,7

### Актуальность и перспективы оптико-электронных средств СККП

Известно, что продолжает обостряться проблема, связанная с космическим мусором. Стоят задачи обнаружения все более мелких фракций в больших количествах и с более высокой точностью [5, 6], а также обнаружения маломассогабаритных КА, которые включены во многие перспективные космические программы (мини-, микро-, нано-, пико- и даже фемто-КА [7, 8] с массой от 500 кг до 100 г и диаметром от 0,9 м до нескольких сантиметров соответственно). Информация о них также подлежит каталогизации.

С учетом складывающейся ситуации предлагается новая научно-практическая концепция создания перспективного оптико-электронного средства мониторинга космоса – поисково-следающей всевысотной перебазируемой оптико-электронной станции (ОЭС). Основная особенность станции состоит в ее полной заводской готовности, что допускает ее установку и обеспечивает работу в любой доступной и соответствующей по астроклиматическим параметрам местности.

Принципиальные преимущества перебазируемых ОЭС по отношению к стационарным средствам ККП:

1) Модульность. Каждый модуль представляет собой конструктивно законченное функциональное устройство; объединение модулей в станцию производится по оптимальным сочетаниям механических, электрических и информационных связей.

2) Минимизация массогабаритных характеристик.

3) Транспортная пригодность в настроенном виде.

4) Высокая оперативность перебазирования станции, включающая свертывание станции,

подготовку к транспортированию, транспортирование, развертывание.

5) Универсальность. Работа в двух режимах: в режиме обзора, поиска и обнаружения космических объектов станция имеет высокие поисковые возможности, а в режиме слежения при сборе координатной информации обеспечиваются высокие точностные характеристики.

6) Всевысотность. Обеспечивается работа от 120 км, верхний высотный диапазон не ограничен.

7) Автоматическая работа в условиях частичной облачности за счет датчика ночной облачности и специального программно-алгоритмического обеспечения оценки и прогноза облачности.

8) Комплексируемость путем установления электрических и логических связей между модулями, при этом модуль управления одной из станций выполняет дополнительные функции общекомплексного устройства управления.

9) Дистанционность управления для станций, дислоцируемых на различных позициях, удаленных друг от друга на любые расстояния.

10) Наращиваемость (модернизируемость). Структура станции, ее конструктивное исполнение и программное обеспечение выбраны такими, что от типа приемника излучения зависит только блок фотоприемного устройства (ФПУ) и непосредственно взаимодействующий с ним программный модуль. Блок ФПУ для разных приемников излучения унифицирован по конструктивным, массогабаритным и электрическим параметрам.

Таким образом, перспективная ОЭС состоит из двух модулей: модуля телескопа и модуля управления. На рис. 5 представлены схемы размещения и транспортировки передислоцируемой станции.

Особенности состава и конструкции перспективной станции. Станция включает три канала, реализованных с использованием двух типов фотоприемников и двух типов объективов (крупно- и малогабаритного). В конструкции крупногабаритного объектива формируются два канала: широкопольный поисково-измерительный (поле зрения  $2,73^\circ \times 2,73^\circ$ , для задач обнаружения высоко- и среднеорбитальных КО) и узкопольный измерительно-фотометрический (поле зрения  $0,11^\circ \times 0,11^\circ$ , для всех диапазонов высот). Конструкцией предусмотрена оперативная смена фотоприемников в процессе работы. Сверхширокопольный поисково-измерительный канал с малогабаритным объективом имеет поле зрения

$15,6^\circ \times 15,6^\circ$  и обеспечивает работу в режиме обзора, поиска и обнаружения низкоорбитальных КО. В поисково-измерительных каналах по обнаруженным объектам собирается информация в объеме, достаточном для идентификации КО и выдачи целеуказаний измерительно-фотометрическому каналу. В измерительно-фотометрическом канале выполняются высокоточные координатные измерения, оценивается блеск объекта, регистрируется фотометрическая кривая в диапазоне частот от 0,1 до 100 Гц. Основные характеристики станции приведены в табл. 3.

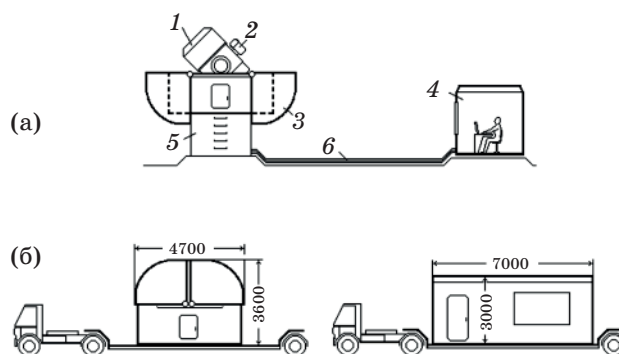


Рис. 5. Перспективная оптико-электронная станция. а – модули станции на позиции, 1 – крупногабаритный объектив, 2 – малогабаритный объектив, 3 – створки укрытия в рабочем положении, 4 – модуль управления, 5 – опора, 6 – кабельная трасса; б – транспортирование модулей станции.

Таблица 3. Основные характеристики перспективной ОЭС

Характеристика	Значение	
Зона обзора, угл. град.	по азимуту	0–360
	по углу места	0–90
Рабочая высота, км	минимальная	120
	максимальная	без ограничен.
Диаметр светового зрачка объектива, мм	крупногабаритного	1600
	малогабаритного	280
Фокусное расстояние объектива, мм	крупногабаритного	2400
	малогабаритного	420
Диаметр линейного поля обоеих объективов, мм		162
Максимальная угловая скорость слежения, угл. град/с		5,0

Ключевым звеном в оптимизации конструкции является выбор диаметра светового зрачка. Известно, что чем больше световой зрачок и, соответственно, чем больше фотонов собирает объектив, тем выше проникающая способность и лучше точностные характеристики станции. С другой стороны, с увеличением светового зрачка резко возрастают сложность и стоимость объектива и станции в целом. Как показано в [9], диаметр зрачка должен определяться по цепочке “габарит погрузки железных дорог России → габариты модуля телескопа → габариты телескопа → размеры крупногабаритного объектива → диаметр светового зрачка”. Очевидно, что каждый элемент этой цепочки должен работать на конечный результат, а именно на наибольший возможный диаметр светового зрачка объектива. При минимизации “толщины стенок” защитного укрытия и корпуса объектива, а также при разработке особой конструкции опорно-поворотного устройства, обеспечивающей максимально возможное расстояние между посадочными фланцами, станция становится “предельной” в классе изделий полной заводской готовности, так как любые другие варианты смогут только повторить, но не превзойти станцию по этому параметру.

Требования к характеристикам измерительного фотометрического приемника хотя и являются весьма жесткими, однако среди существующих и разрабатываемых телевизионных систем специального, промышленного и научного назначения уже сегодня имеются такие, которые этим требованиям в той или иной мере соответствуют. В части поисково-измерительного приемника все выглядит значительно сложнее. Такой приемник одновременно должен удовлетворять трудно-выполнимым и вместе с тем противоречивым требованиям:

- большой формат,
- предельно высокая интегральная квантовая эффективность,
- минимально возможное время считывания накопленного сигнала,
- минимальные шумы считывания.

Очевидно, что главное противоречие заключается между большим форматом и минимально возможным временем считывания с минимальными шумами. Разрешение этого противоречия возможно либо путем разбиения секции накопления приемника на достаточное количество автономно считываемых подсекций (до 64), либо за счет формирования приемника в виде “бесшовной” сборки мозаик такого же количества [10].

Информация о КО, содержащаяся в телевизионном сигнале, вводится в вычислительные средства и обрабатывается в темпе ее поступления. В процессе обработки по заранее заданным признакам обнаруживаются искомые объекты и отбираются для дальнейшего исследования. По отобранным объектам собирается, обрабатывается и документируется координатная и некоординатная информация. Обработанная информация в требуемой форме предоставляется потребителю.

Управление станцией и режимами работы в течение всего сеанса проводится автоматически. Возможен интерактивный режим. Предусмотрена работа по единой программе нескольких станций, в том числе и расположенных на удаленных друг от друга позициях. Одновременная работа разнесенных станций позволяет проводить многоракурсные и базисные наблюдения космических объектов.

## Заключение

Перспективная оптико-электронная станция ККП должна разрабатываться как эффективное специализированное средство мониторинга космического пространства в оптическом диапазоне длин волн, обеспечивать полное и с высоким достоверным результатом решение практически всех задач мониторинга космического пространства для научных, технических и военных целей. Многофункциональность и ценовой фактор станции должны определить ее высокий потребительский потенциал. Возможны варианты ее применения в национальных службах контроля космического пространства, в организациях, занимающихся обработкой и эксплуатацией спутниковых систем, на астрономо-геодезических пунктах, в астрофизических и университетских обсерваториях, в различных международных проектах, в частности, связанных с астероидно-кометно-метеоритной опасностью и др.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимов В.Д., Батырь В.С., Меньшиков А.В., Шилин В.Д. СККП России: вчера, сегодня, завтра // Воздушно-космич. оборона. 2003. № 6 (13). С. 26–30. 2004. № 1 (14). С. 26–30.
2. Дятлов В. Основные направления развития наземных оптоэлектронных средств контроля космического пространства США // Зарубежное военное обозрение. 2006. № 1. С. 50–55. № 2. С. 30–35.

3. *Бахтигараев Н.С.* Фотографические наблюдения искусственных небесных тел и возможности их каталогизации // Проблема загрязнения космоса (космический мусор) / Под ред. Масевич А.Г. М.: Космосинформ, 1993. С. 47–58.
  4. Оптико-электронный комплекс контроля космического пространства “Окно” // Каталог “Оружие России”. Т. 5. Вооружение и военная техника Войск противовоздушной обороны. Ч. 2. Ракетно-космическая оборона. М.: Военный парад, 1996–1997. С. 72–79.
  5. *Микиша А.М., Рыхлова Л.В., Смирнов М.А.* Загрязнение космоса // Вестник РАН. 2001. Т. 71. № 1. С. 26–31.
  6. *Zdor S.E., Chernov V.S.* Opportunities of Passive Opto-Electronic Means for Space Monitoring // Orbital Debris Monitor. 1992. V. 5. P. 13–14.
  7. *Анфимов Н.А.* Тенденции развития космической техники на современном этапе // III International Conference & Exhibition. “Small Satellites: New Technologies, Miniaturization Efficient Applications in 21 Century”. Korolev. 2002. V. 1. P. 5–10.
  8. *Zdor S.E., Kolinko V.I., Titenko V.V.* On Observation of Low-Mass and Small-Size Space Objects Using Ground-Based Optoelectronic Means // Abstracts VI US–Russian Space Surveillance Workshop. Pulkovo. 2005. P. 26–27.
  9. *Здор С.Е., Колинко В.И., Потелов В.В.* О базовом наземном средстве контроля космического пространства // Оборонная техника. 2006. № 9. С. 83–91.
  10. *Здор С.Е., Колинко В.И., Суриков И.Н.* Тенденция развития современных телевизионных систем наблюдения космических объектов // Тез. докл. XIII конф. “Современные проблемы развития телевизионных фотоэлектронных приборов”. СПб., 2006. С. 43–44.
-