

УДК 621.397.001

doi: 10.17586/2226-1494-2020-20-1-24-31

## ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЙ КОМПЛЕКС ДЕТАЛЬНОГО НАБЛЮДЕНИЯ

А.В. Денисов<sup>a</sup>, В.В. Попов<sup>a</sup>, С.В. Логунов<sup>b</sup>, П.В. Карев<sup>c,d</sup>

<sup>a</sup> АО «НИИ телевидения», Санкт-Петербург, 194021, Российская Федерация

<sup>b</sup> Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, 197198, Российская Федерация

<sup>c</sup> ООО «Промышленная метрология», Санкт-Петербург, 197372, Российская Федерация

<sup>d</sup> Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

Адрес для переписки: [www.denisoff@mail.ru](mailto:www.denisoff@mail.ru)

### Информация о статье

Поступила в редакцию 09.10.19, принята к печати 14.11.19

Язык статьи — русский

**Ссылка для цитирования:** Денисов А.В., Попов В.В., Логунов С.В., Карев П.В. Оптико-электронный комплекс детального наблюдения // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2020. Т. 1. № 1. С. 24–31. doi: 10.17586/2226-1494-2020-20-1-24-31

### Аннотация

**Предмет исследования.** Представлены алгоритмы и методы работы оптико-электронного комплекса детального наблюдения в космосе с целью поиска, обнаружения и регистрации изображений космических аппаратов, выведенных из эксплуатации в связи с истечением срока эксплуатации, а также астероидов и космического мусора. Оптико-электронный комплекс состоит из блоков оптико-электронной аппаратуры, включающих в себя аппаратуру обзора космического пространства, аппаратуру визуальной идентификации космического мусора, аппаратуру стереоскопического детального наблюдения, а также телевизионную лазерную систему для построения трехмерного «облака точек» (карты глубины) идентифицированного объекта. **Метод.** На основе анализа известных общедоступных источников по космическим системам предложен новый метод, позволяющий увеличивать дальность до исследуемого объекта за счет сохранения энергии импульса. Метод позволяет концентрировать энергию в узком угле за счет использования в разработанном устройстве трех прецизионных двигателей, смещающих установленный на них излучатель. Предложенное решение предоставляет возможность управлять шириной и углом излучения лазера по трем плоскостям. Разработаны оригинальные алгоритмы работы оптико-электронного комплекса детального наблюдения для построения карты глубины исследуемого объекта. **Основные результаты.** Разработан проект оптико-электронного комплекса функционирующего на низких, средних и геостационарных орбитах с максимально относительной линейной скоростью от исследуемого объекта до 1,5 км/с на низких и средних орбитах, и до 6,15 км/с на геостационарных. Разработан оригинальный метод наведения луча освещения на объект наблюдения. **Практическая значимость.** За счет применения разработанных алгоритмов оптико-электронный комплекс детального наблюдения позволяет на дистанции от 100 м строить трехмерное изображение объекта наблюдения с целью его идентификации и каталогизации. Результаты работы могут быть полезны при проектировании лазерных систем, систем управления сближения и стыковки космических аппаратов, а также для выполнения задач с системами орбитального обслуживания космических аппаратов в целях военной и гражданской отрасли.

### Ключевые слова

оптико-электронный комплекс детального наблюдения, обзор космического пространства, идентификация объекта, стереоскопическое детальное наблюдение, лазерная локационная система

### Благодарности

Работа выполнена по результатам составной части научно-исследовательской работы между АО «НИИ телевидения» и АО «ЛОМО».

**OPTICAL-ELECTRONIC COMPLEX OF DETAILED SURVEILLANCE**A.V. Denisov<sup>a</sup>, V.V. Popov<sup>a</sup>, S.V. Logunov<sup>b</sup>, P.V. Karev<sup>c,d</sup><sup>a</sup> JSC Television Scientific Research Institute, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation<sup>b</sup> Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky, Saint Petersburg, 197198, Russian Federation<sup>c</sup> Industrial Metrology Co LTD, Saint Petersburg, 197372, Russian Federation<sup>d</sup> ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

Corresponding author: www.denisoff@mail.ru

**Article info**

Received 09.10.19, accepted 14.11.19

Article in Russian

**For citation:** Denisov A.V., Popov V.V., Logunov S.V., Karev P.V. Optical-electronic complex of detailed surveillance. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 24–31 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2020-20-1-24-31**Abstract**

**Subject of Research.** The paper presents algorithms and methods of the optoelectronic complex operation for detailed surveillance in space aimed at the search, detection and registration of spacecraft images withdrawn from service due to the expiration of the service life, as well as asteroids and space debris. Optical-electronic system consists of optical-electronic equipment that includes space review instrument, equipment of space debris visual identification, equipment of stereoscopic detailed surveillance, as well as television laser system for building three-dimensional “cloud of points” (depth map) of the identified object. **Method.** Based on the analysis of known publicly available sources for space systems, we proposed a novel method that provides increasing the range to the object under study by conserving the pulse energy. The method gives the possibility to concentrate energy in a narrow angle due to the three precision motors in the developed device displacing the emitter installed on them. The proposed approach provides for three-planed control of the width and angle of the laser radiation. The original operation algorithms of the detailed surveillance optoelectronic complex for building a depth map of the object under study were developed. **Main Results.** The project of optoelectronic complex has been developed functioning in low, medium and geostationary orbits with the maximum relative linear velocity from the object under study up to 1.5 km/s in low and medium orbits, and up to 6.15 km/s in geostationary orbits. An original method of aiming the light beam at the object of observation has been developed. **Practical Relevance.** Applying the proposed algorithms, optical-electronic system of detailed surveillance draws a three-dimensional image of the observation object on distances from 100 m with the aim of its identification and cataloguing. The results of the work can be useful in the development of laser systems, control systems for spacecraft rendezvous and docking, as well as for tasks with systems of spacecraft orbital maintenance for the military and civil industries.

**Keywords**

optical-electronic complex of detailed surveillance, space survey, object identification, stereoscopic detailed observation, laser location system

**Acknowledgements**

The paper is based on the results of a part of the research work between JSC Television Scientific Research Institute and JSC LOMO.

**Введение**

Поиск и исследование объектов в космосе на удаленных расстояниях на сегодняшний день имеет важное прикладное значение с целью идентификации опасных для Земли разного объема и типа астероидов, оценки загруженности действующих орбит неработоспособными космическими аппаратами и селекции геостационарных орбит. Так как геостационарные орбиты находятся со значительной удаленностью от наземных служб контроля, задача выявления на них крупногабаритного космического мусора и мелких объектов (размерами от 20 до 1 см), представляющих значительную опасность для действующих космических аппаратов, становится достаточно трудоемкой. В связи с этим встает вопрос о преждевременном орбитальном обслуживании и селекции космического пространства с целью выявления технического состояния действующих космических аппаратов и появления новых спутников для обновления каталога космических объектов.

В связи с объемом выполняемых задач разрабатываемая оптико-электронная аппаратура детального наблюдения должна обеспечивать: обзор заданной зоны

космического пространства; поиск, обнаружение и регистрацию изображений заданного объекта; определение дальности до объекта и значения угловых координат; получение видеоинформации для идентификации объекта и построение его трехмерного образа.

Упрощенная схема оптико-электронного комплекса (ОЭК) детального наблюдения представлена на рис. 1 [1].

Рассматриваемый ОЭК — единственный источник информации на борту о наблюдаемом объекте — следует понимать как порядок формирования и использования информации, поступающий от его блоков [2]. Вся оптико-электронная аппаратура осуществляет информационный обмен с блоком управления, который, в свою очередь, организует обмен с внешними системами космического аппарата, в который входит ОЭК. Таким образом, задача сводится к следующей: в масштабе всего ОЭК необходимо обнаружить объект, взять его на сопровождение и с целью определения параметров траектории движения идентифицировать его. Затем, откорректировав движение ОЭК, сблизиться с объектом, с целью осуществления детального наблюдения и построения его карты глубины (рис. 2).

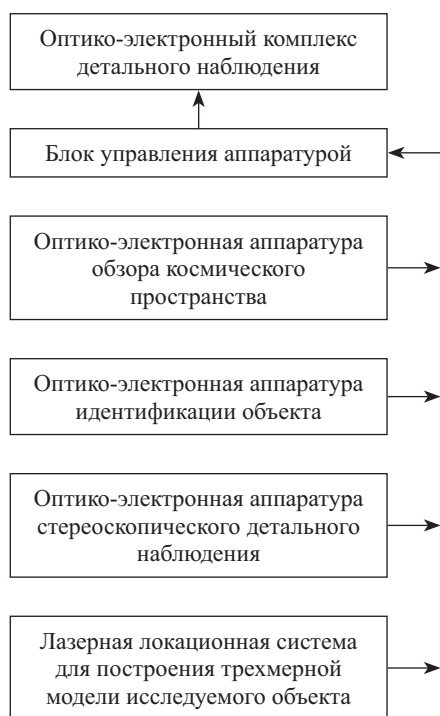


Рис. 1. Упрощенная схема оптико-электронного комплекса

Первый контур (рис. 2) обеспечивает наведение на объект оптико-электронной аппаратуры обзора космического пространства (ОЭА ОКП). Второй контур, работающий за счет аппаратуры идентификации объекта и лазерной локационной системы, обеспечивает наведение на объект наблюдения лазера, работающего в пассивном режиме малой чувствительности при солнечной подсветке объекта с целью адаптации его с помощью варифокального объектива в необходимом масштабе.

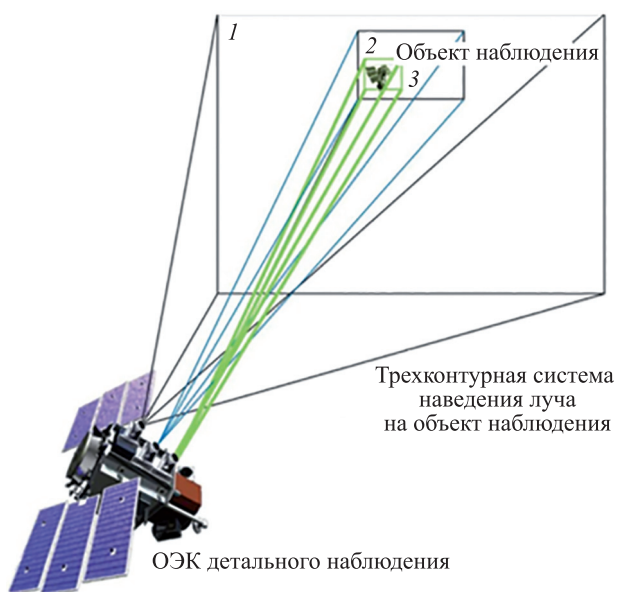


Рис. 2. Схема построения карты глубины исследуемого объекта.

1 — первый контур управления; 2 — второй контур управления; 3 — третий контур управления

Третий контур управления оперирует устройством наведения луча лазерной системы предельно малой массы. Контур работает за счет фотодатчика, центральная ось луча подсветки телевизионного лазерного локатора наводится на объект.

### Алгоритм работы оптико-электронной аппаратуры обзора космического пространства

Первоначальным источником информации является ОЭА ОКП, формирующая серию одиночных снимков через фиксированный интервал времени, по которым определяются угловые координаты объекта —  $\alpha$  и  $\beta$  — значения яркости объекта  $B$ . При наличии смаза изображения, обусловленного движением наблюдаемого объекта, определяются также направление и величина смаза  $\phi$  и  $D$  соответственно. Имея серию таких снимков, становится возможным определить производные данных величин. Таким образом, полный вектор информации, формируемой ОЭА ОКП, выглядит следующим образом

$$A_{\text{ОЭА ОКП}} = \{\alpha, \beta, B, \phi, D, \dot{\alpha}, \dot{\beta}, \dot{B}, \dot{\phi}, \dot{D}\}.$$

По данным, полученным из центра управления полетом, ОЭА ОКП формирует последовательность снимков, на основании которых определяются угловые и энергетические характеристики наблюдаемого объекта и скорость его движения, позволяющая определить положение объекта в космосе относительно оптической оси. Алгоритм работы ОЭА ОКП приведен на рис. 3.

Время наблюдения за объектом должно быть достаточным для расчета параметров его движения и местоположения относительно ОЭК. В этой связи возникает требование наличия в составе ОЭК необходимых вычислительных ресурсов. Для расчета положения объекта в космосе и его ориентации относительно поверхности Земли возможно использование математического аппарата кватернионов, обеспечивающего достаточно простой расчет и корректировку данных величин [3].

Таким образом, по данным внешних целеуказаний ОЭА ОКП формирует последовательность снимков, на основании которых определяются угловые и энергетические характеристики наблюдаемого объекта. Определяется положение наблюдаемого объекта, его первичная селекция (космический аппарат, мусор, астероид), и по величине смаза производится его идентификация. По данным результатам центр управления полетами принимает решение на корректировку орбиты для ОЭК с целью детального исследования заданного объекта.

### Алгоритм работы оптико-электронной аппаратуры идентификации объекта

Задачей оптико-электронной аппаратуры идентификации объекта (ОЭА ИО) является более точное определение параметров его движения. Для этого блок управления ОЭК обеспечивает наведение главной оптической оси в зону нахождения объекта, а ОЭА ИО

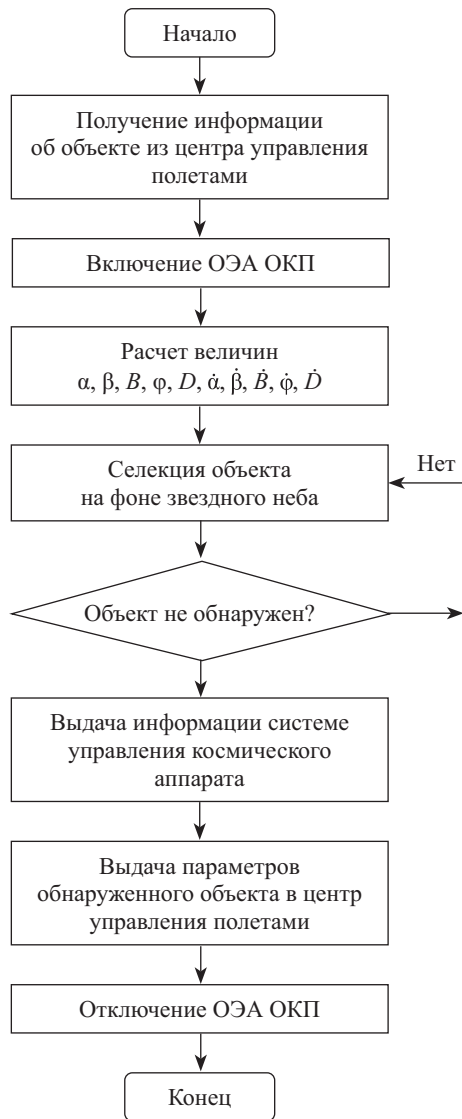


Рис. 3. Упрощенный алгоритм работы оптико-электронной аппаратуры обзора космического пространства

формирует видеопоток, обеспечивающий идентификацию объекта наблюдения. Особенностью данной аппаратуры является то, что помимо визуализации и идентификации объекта определяются его кинематические координаты относительно реперной точки на фотоприемной матрице. Поскольку дальность наблюдения у ОЭА ИО ограничивается величиной до 2000 м, а скорость сближения (удаления) предполагается относительно небольшой (до 1 м/с), то величина смаза будет незначительной и не должна являться выходной информацией. Вместе с тем геометрические размеры наблюдаемого объекта будут достаточно «велики» и, следовательно, его угловые координаты будут определяться либо относительно некоторой точки объекта, либо относительно его геометрического центра. С учетом вероятности наблюдения за объектом, вращающимся относительно некоторой своей оси, эта величина будет меняться периодически, вследствие чего ОЭА ИО определяет признак вращающегося объекта и период его вращения.

На средних дальностях ОЭК включает лазерную локационную систему построения трехмерной модели объекта (ЛЛС ПТМО) для определения дальности до объекта, тем самым получив полный вектор параметров его движения. На основании получаемых от ОЭА ИО изображений, блок управления ОЭК формирует и выдает следующие параметры:

$$A_{\text{ОЭА ИО}} = \{\alpha, \beta, \dot{\alpha}, \dot{\beta}, d, \dot{d}, T_{ep}, \Delta\alpha, \Delta\beta\},$$

где  $\alpha, \beta, \dot{\alpha}, \dot{\beta}$  — угловые координаты центра изображения наблюдаемого объекта и скорости их изменения относительно оптической оси ОЭА ИО;  $d, \dot{d}$  — дальность до объекта и усредненная скорость ее изменения;  $T_{ep}$  — период вращения объекта наблюдения;  $\Delta\alpha, \Delta\beta$  — угловые размеры объекта наблюдения.

Алгоритм работы ОЭА ИО приведен на рис. 4.

Временная привязка полученных результатов осуществляется аналогично данным, как и от ОЭА ОКП. Система управления аппаратуры обеспечивает в процессе наблюдения ориентацию космического аппарата так, чтобы наблюдаемый объект находился в главной оптической оси, формируя управляющие воздействия на основании величины отклонения от нее. Совмещение оптических осей всех систем ОЭК позволяет при выполнении этого условия ввести в работу

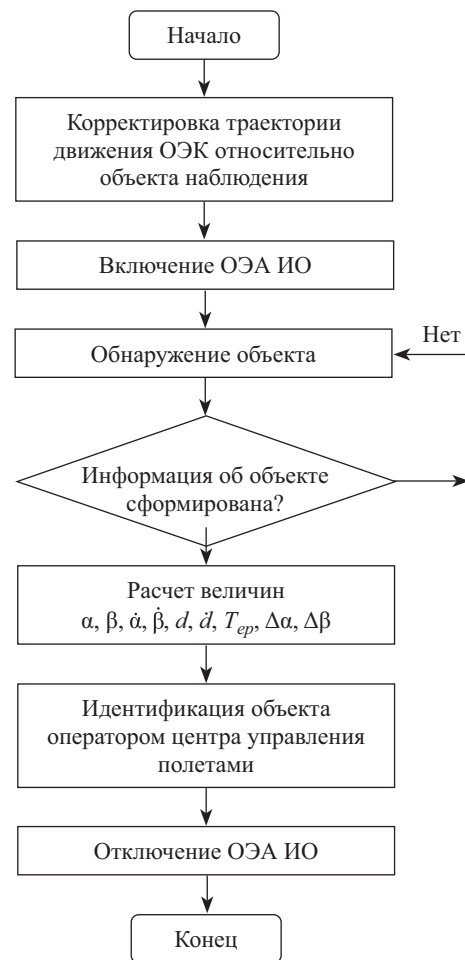


Рис. 4. Упрощенный алгоритм работы оптико-электронной аппаратуры идентификации объекта

ЛЛС ПТМО для определения дальности до объекта с целью формирования карты глубины исследуемого объекта.

#### Алгоритм работы лазерной локационной системы для построения трехмерной модели объекта

Лазерная система формирует массив объекта наблюдения, состоящего из множества точек, при этом учитывая линейную скорость сближения с объектом и точность измерения угловых координат [4]. Трехмерный образ поверхности объекта определяется импульсным методом, а именно путем построения дальномерных плоскостей с помощью «облака точек», которые фиксируются структурированным фотоприемным устройством при приеме эхо-сигнала с применением лазерного дальномера.

Лазер облучает область космоса, в пределах которой находится объект. Отраженный сигнал фиксируется от объекта фотодиодом, и определяется дистанция до него. Затем лазер излучает очередной импульс с учетом полученных данных, и отраженный в этот момент сигнал фиксируется на фотоприемнике телевизионной камеры, таким образом вырабатывая информацию о дальности до объекта. Полученные кадры обрабатываются, и на их основе восстанавливается трехмерный образ объекта наблюдения [5]. Алгоритм работы ЛЛС ПТМО приведен на рис. 5.

#### Устройство телевизионного лазерного локатора для построения трехмерного «облака точек»

Существуют различные методы формирования карт глубины. Их можно разделить на одноимпульсные и многоимпульсные методы наблюдения. Наибольшее распространение получили многоимпульсные методы, позволяющие реализовывать «гибкое» управление параметрами лазерного локатора. В основе данного метода лежит использование активной импульсной системы, в которой импульсный лазер синхронизируется с закрытым датчиком [5]. Отличием многоимпульсного метода от одноимпульсного является использование многоимпульсной подсветки объекта, где каждый последующий импульс подсветки имеет фазовый сдвиг относительно импульса, определяющего момент времени накопления. За счет этого удается существенно увеличить разрешение по глубине до 10–50 мм.

Механизм формирования трехмерного «облака точек» строится трехконтурным методом наведения луча на объект [6] (см. рис. 2). Телевизионная информация всех контуров управления позволяет осуществлять не только предварительное наведение лазера на объект, но и непрерывно отслеживать его в условиях перемещения относительно космического аппарата, после захвата объекта на сопровождение по заданному на рис. 5 алгоритму. Отраженные от объекта импульсы регистрируются одноэлементным фотодиодом. Время прохождения импульса до цели и обратно контролируется блоком управления аппаратуры. Затем система переходит в режим построения трехмерной формы объекта.

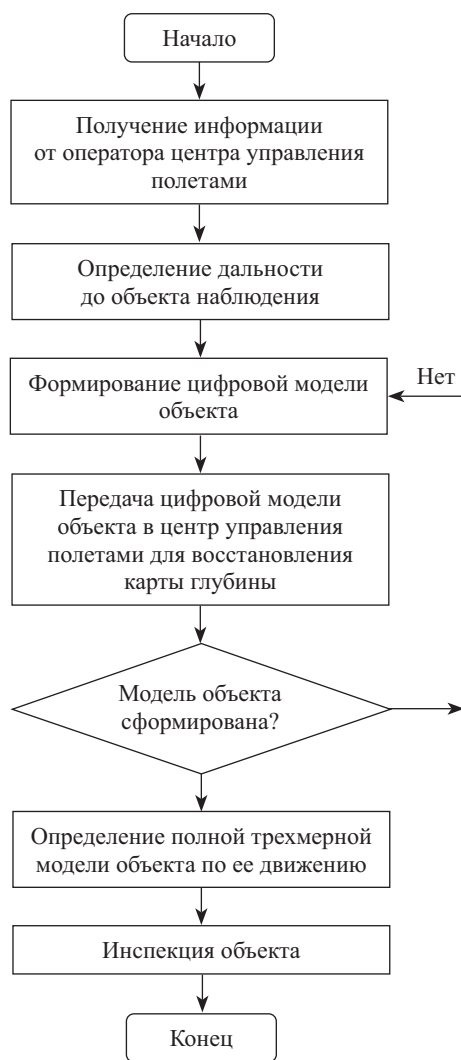


Рис. 5. Упрощенный алгоритм работы лазерной локационной системы для построения трехмерной модели объекта

Реализация алгоритма работы ЛЛС ПТМО осуществляется устройством, в состав которого входят: фотоприемное устройство, анализатор, приемная оптическая система, лазер, светоделитель и излучатель на трех прецизионных двигателях (рис. 6).

Лазер 1 через приемную оптическую систему 2 излучает в космос импульсы. Излучающий элемент 3, находящийся на трех прецизионных двигателях, перемещается в трех направлениях, в результате чего угол зрения уменьшается, и происходит перенацеливание в поисках объекта наблюдения. После обнаружения объекта на фотоприемное устройство 4 (работающее в широком угле зрения) ответвляется излученный от объекта импульс, который через анализатор 5 анализирует разницу между излученным и полученным импульсами. Светоделитель 6, в свою очередь, делит излучение излучателя как принятое и отраженное. Таким образом, за счет работы данного устройства реализуются две объемные задачи: построение трехмерного «облака точек» объекта наблюдения и увеличение дальности до объекта. Это происходит за счет

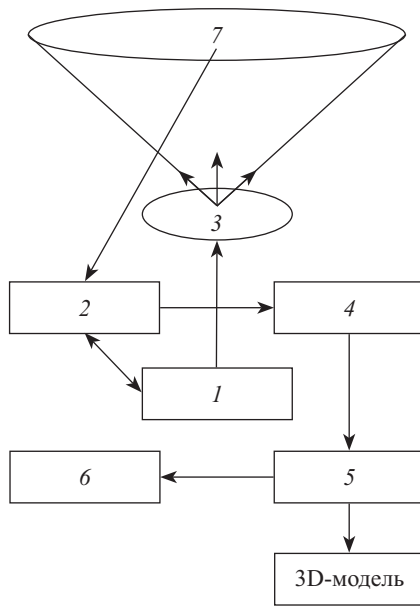


Рис. 6. Устройство лазерной локационной системы для построения трехмерной модели объекта.

1 — лазер; 2 — приемная оптическая система; 3 — излучатель, установленный на трех прецизионных двигателях; 4 — фотоприемное устройство; 5 — анализатор; 6 — светодетектор; 7 — объект наблюдения

концентрации энергии в узком угле, таким образом, происходит экономия энергии и увеличение дальности наблюдения.

#### Алгоритм работы оптико-электронной аппаратуры стереоскопического детального наблюдения

Оптико-электронная аппаратура стереоскопического детального наблюдения (ОЭА СДН) включается с дальности от 100 м с целью непрерывного сопровождения объекта. Задача детального наблюдения за объектом требует, прежде всего, формирования видеoinформации с достаточно высоким разрешением, с возможностью ее обработки и воспроизведения. После захвата объекта ОЭА ИО прекращает активное наблюдение за объектом. С учетом достаточно значительных ошибок определения дальности до объекта — до 200 м, ЛЛС ПТМО функционирует до 100 м, после чего отключается и остается активной только ОЭА СДН. Алгоритм работы ОЭА СДН приведен на рис. 7.

#### Построение карты глубины наблюдаемого объекта

Задача построения полного или частичного трехмерного изображения в космосе является физически сложно выполнимой задачей. Существует большое количество методов построения трехмерной модели, которые можно разделить на: оптические и неоптические методы. Неоптические методы — это работа аппаратуры в радио и акустическом диапазонах, оптические — это применение в аппаратуре стереопар или

сканирующих систем типа лидар [7]. При реализации конкретного метода необходимо учитывать, какие параметры ОЭК являются наиболее значимыми, а какие имеют меньший приоритет. Так, из основных можно выделить: пространственное и глубинное разрешение, энергопотребление аппаратурой, массогабаритные параметры, рабочий диапазон формирования трехмерного «облака точек» объекта, дальность работы лазера, скорость формирования трехмерного объекта и т. д. [8].

Как сказано выше, построение трехмерного изображения возможно с помощью стереосистем ОЭА СДН. Основная трудность решения данной задачи заключается в значительной неидеальности реальных

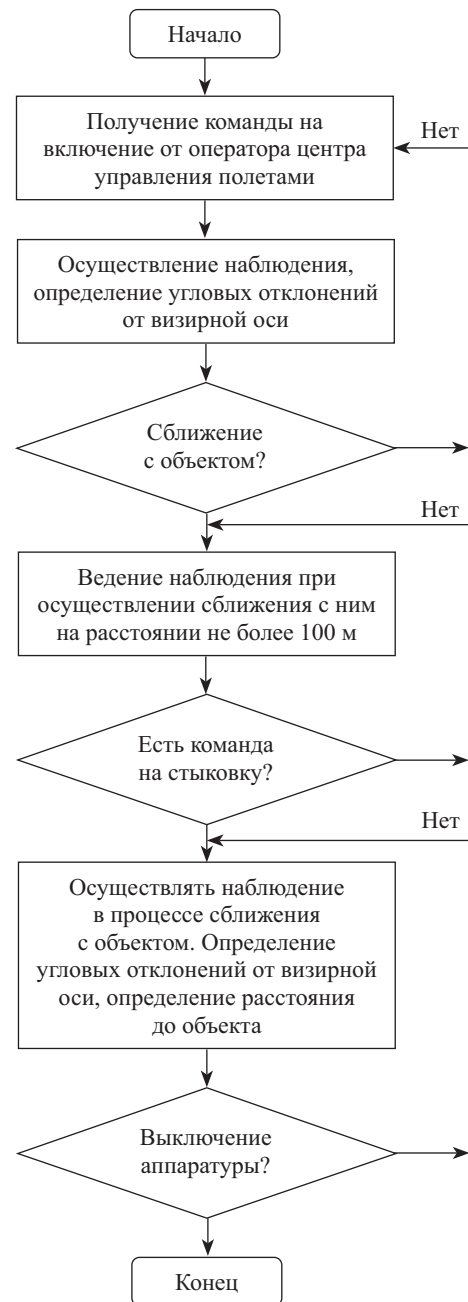


Рис. 7. Алгоритм работы оптико-электронной аппаратуры стереоскопического детального наблюдения

условий наблюдения, обусловленного, прежде всего, отсутствием информации о дальности до любой точки объекта, непрерывным линейным движением наблюдаемого объекта, а также ограничениями по изменению ракурса наблюдения за объектом. Стоит учитывать также влияние возможных линейных смещений объекта наблюдения относительно ОЭК, а также их величину на точность получаемой и формируемой информации [9]. В любом случае реализация стереосистем требует использования метрических или полуметрических камер. Иначе говоря, метрические камеры должны иметь постоянное фокусное расстояние и минимальной коэффициент дисторсии, а полуметрические — только фиксированное фокусное расстояние, что приводит к усложнению оптических систем, обусловленному необходимостью первоначальной внутренней калибровки камер, обеспечивающих фактический перевод полуметрических камер в метрические. Решение задачи построения «облака точек» объекта наблюдения зависит от качества сформированной модели и сравнения ее с имеющейся эталонной базой, а также от уровня разработанных алгоритмов [10, 11].

На рис. 8 представлен разработанный макет ОЭК. Съемка осуществлялась с расстояния 5 м со стереобазой 15 см и фокусным расстоянием 44 мм. Важно отметить, что «одноракурсность» изображения не обеспечивает полноценное решение задачи идентификации объекта, и требует «многоракурсности» для ее решения, однако, может рассматриваться как частный случай построения трехмерной модели при использовании данных стереосистемы [12, 13].

Отдельно необходимо остановиться на возможности анализа множества опорных точек (трехмерного «облака точек»), формируемых лазерной локационной системой при решении задачи идентификации объекта исследования. Решение данной задачи наиболее просто решается в «ручном» режиме путем визуального анализа их изображения оператором и его сравнения с неким эталоном (множеством эталонов). Автоматическое решение данной задачи представляет собой достаточно сложную задачу, достоверное решение которой во многом зависит, во-первых, от сформированных моделей (количества точек и их разрешения) и имеющейся эталонной базы таких объектов, а во-вторых, от применяемых алгоритмов обработки и идентификации.

Формирование же полноценной модели может быть осуществлено на основании «сшивки» таких частных моделей, сформированных при различных ракурсах наблюдения за объектом. Вместе с тем следует также отметить, что выполнение этой процедуры является достаточно ресурсоемким с точки зрения вычисления и анализа, и для ее реализации необходим оригинальный телевизионный лазерный локатор [14].

#### Литература

1. Демин А.В., Умбиталиев А.А., Цыцулин А.К., Полищук Г.С., Савицкий А.М., Черногубов А.В. Телевизионно-локационный комплекс орбитального обслуживания // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2019. № 2. С. 3–9.

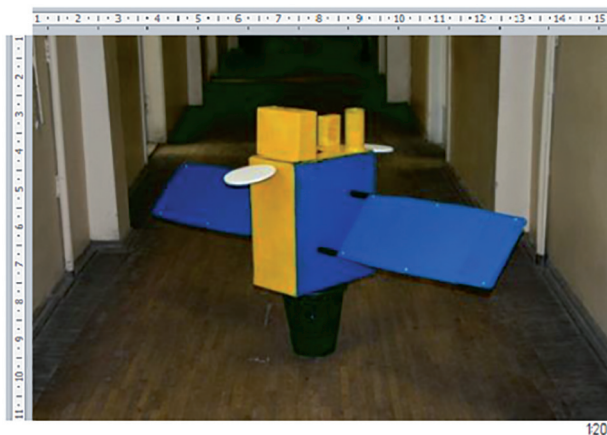


Рис. 8. Корпус макета оптико-электронного комплекса

#### Заключение

На сегодняшний день свыше 15 стран располагают собственными космическими аппаратами, а общее число одновременно действующих совместно с нефункционирующими аппаратами достигает нескольких сотен, и с каждым месяцем они только дополняются новыми. Контакт со спутниками, запущенными в прошлом столетии уже давно потерян, а движение их по орбите является неконтролируемым хаотичным процессом, и возможность столкновения их с действующими спутниками является достаточно высокой. Также острым вопросом является появление на орбитах Земли мелких астероидов, столкновение с которыми приведет к потере сигнала со спутником, что несет государству многомиллионные потери.

Создание космических систем орбитального обслуживания и детального наблюдения за космическими объектами является «неновой». Современные методы моделирования и схмотехники позволяют реализовывать такие системы на достаточно высоком техническом уровне. Но стоит отметить, что построение трехмерной модели в режиме реального времени до сих пор является слабым звеном для полномасштабной реализации таких систем, а разработанные прототипы позволяют реализовать лишь плоскую модель объекта [15]. Это связано как с физическими характеристиками небесного тела, так и со спектральными характеристиками в части наблюдения за недействующими космическими аппаратами.

Разработанные алгоритмы для поэтапного детального наблюдения за объектом в космосе совместно с методами наблюдения позволяют сохранить баланс аппаратуры и выполнять задачи наблюдения за объектом, определять его тактико-технические характеристики и дальность до объекта, строить его карту глубины.

#### References

1. Demin A.V., Umbitaliev A.A., Tsytsulin A.K., Polishuk S, Savitsky A.M., Chernogubov A.A. Optical and electronic complex for promising space apparatus orbital service systems. *Voprosy Radioelektroniki. Seriya: Tekhnika Televideniya*, 2019, no. 2, pp. 3–9. (in Russian)

2. Демин А.В., Денисов А.В., Летуновский А.В. Оптико-цифровые системы и комплексы космического назначения // Известия вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53. № 3. С. 53–59.
3. Логунов С.В., Рогов Д.А., Чистяков С.В. Методика расчета величины блеска звезд в системе широкополосного оптического приемника // Труды военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2016. № 654. С. 89–95.
4. Голицын А.А., Сейфи Н.А. Активно-импульсный метод наблюдения с использованием ПЗС-фотоприемника со строчным переносом // Известия вузов. Приборостроение. 2017. Т. 60. № 11. С. 1040–1047. doi: 10.17586/0021-3454-2017-60-11-1040-1047
5. Варгин П.С. Способ определения пространственной формы объектов. АС СССР № 174185, заявка № 3015625 от 06.04.1981 г. Патент SU 1 840 824 А1. Бюл. 2012. № 15.
6. Умбиталиев А.А., Варгин П.С., Черногубов А.В. Определение пространственной формы искусственных космических объектов методом телевизионной лазерной локации // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2019. № 2. С. 10–23.
7. Wang X., Cao Y., Cui W., Liu X., Fan S., Zhou Y., Li Y. Three-dimensional range-gated flash LIDAR for land surface remote sensing // Proceedings of SPIE. V. 9260. P. 92604L. doi: 10.1117/12.2074906
8. Иванов В.Г., Каменев А.А. Оценивание дальности обнаружения космических объектов бортовой многоспектральной оптико-электронной аппаратурой с матричными фотоприёмными устройствами смотрящего типа // Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения. 2016. № 3. С. 14–22.
9. Гейхман И.Л., Волков В.Г. Основы улучшения видимости в сложных условиях. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999. 286 с.
10. Everingham M., Van Gool L., Williams C.K.I., Winn J., Zisserman A. The pascal visual object classes (VOC) challenge // International Journal of Computer Vision. 2010. V. 88. N 2. P. 303–338. doi: 10.1007/s11263-009-0275-4
11. Старовойтов Е.И., Савчук Д.В., Зубов Н.Е. Выбор лазеров для увеличения дальности бортовых локационных систем космических аппаратов // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013. № 8. С. 215–232. doi: 10.7463/0813.0609292
12. Назаров В.Н., Балашов И.Ф. Энергетическая оценка импульсных лазерных дальномеров. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2002. 38 с. [Электронный ресурс]. URL: [http://de.ifmo.ru/bk\\_netra/start.php?bn=27](http://de.ifmo.ru/bk_netra/start.php?bn=27) (дата обращения: 16.12.2019)
13. Ставров А.А., Поздняков М.Г. Импульсные лазерные дальномеры для оптико-локационных систем // Доклады БГУИР. 2003. Т. 1. № 2. С. 59–65.
14. Протопопов В.В., Устинов Н.Д. Инфракрасные лазерные локационные системы. М.: Воениздат, 1987. 175 с.
15. Xinwei W., Youfu L., Yan Z. Multi-pulse time delay integration method for flexible 3D super-resolution range-gated imaging // Optics Express. 2015. V. 23. N 6. P. 7820–7831. doi: 10.1364/OE.23.007820
2. Dyemin A.V., Denisov A.V., Letunovsky A.V. Spaceborne optical-digital systems and complexes. *Journal of Instrument Engineering*, 2010, vol. 53, no. 3, pp. 53–59. (in Russian)
3. Logunov S.V., Rogov D.A., Chistyakov S.V. Method of calculation of size of gross of stars in system of the broadband optical receiver. *Proceedings of the Mozhaisky Military Aerospace Academy*, 2016, no. 654, pp. 89–95. (in Russian)
4. Golitsyn A.A., Seyfi N.A. Active-pulse observation method using CCD photodetector with interline transfer. *Journal of Instrument Engineering*, 2017, vol. 60, no. 11, pp. 1040–1047. (in Russian). doi: 10.17586/0021-3454-2017-60-11-1040-1047
5. Vargin P.S. Method of determining object space form. *Patent RU 1840824C*, 2012. (in Russian)
6. Umbitaliev A.A., Vargin P.S., Chernogubov A.A. Determination of the spatial form of artificial space objects by the method of television laser location. *Voprosy Radioelektroniki. Seriya: Tekhnika Televideniya*, 2019, no. 2, pp. 10–23. (in Russian)
7. Wang X., Cao Y., Cui W., Liu X., Fan S., Zhou Y., Li Y. Three-dimensional range-gated flash LIDAR for land surface remote sensing. *Proceedings of SPIE*, vol. 9260, pp. 92604L. doi: 10.1117/12.2074906
8. Ivanov V.G., Kamenev A.A. Estimation of space objects detection range by the onboard multi-spectral optical-electronic equipment. *Voprosy Radioelektroniki. Seriya: Tekhnika Televideniya*, 2016, no. 3, pp. 14–22. (in Russian)
9. Geikhman I.L., Volkov V.G. *The Fundamentals of Visibility Improvement in Inclement Conditions*. Moscow, Nedra-Biznescentr Publ., 1999, 286 p. (in Russian)
10. Everingham M., Van Gool L., Williams C.K.I., Winn J., Zisserman A. The pascal visual object classes (VOC) challenge. *International Journal of Computer Vision*, 2010, vol. 88, no. 2, pp. 303–338. doi: 10.1007/s11263-009-0275-4
11. Starovoitov E.I., Savchuk D.V., Zubov N.E. Selection of lasers for increasing the range of onboard laser ranging systems of space vehicles. *Scientific periodical of the Bauman MSTU*, 2013, no. 8, pp. 215–232. (in Russian). doi: 10.7463/0813.0609292
12. Nazarov V.N., Balashov I.F. *Energy Evaluation of Pulse Laser Rangefinders*. St.Petersburg, SPb GITMO (TU), 2002, 38 p. Available at: [http://de.ifmo.ru/bk\\_netra/start.php?bn=27](http://de.ifmo.ru/bk_netra/start.php?bn=27) (accessed: 16.12.2019). (in Russian)
13. Stavrov A.A., Pozdniakov M.G. Pulse laser rangefinders for optic location systems. *Doklady BGUIR*, 2003, vol. 1, no. 2, pp. 59–65. (in Russian)
14. Protopopov V.V., Ustinov N.D. *Infrared Laser Location Systems*. Moscow, Voenizdat Publ., 1987, 175 p. (in Russian)
15. Xinwei W., Youfu L., Yan Z. Multi-pulse time delay integration method for flexible 3D super-resolution range-gated imaging. *Optics Express*, 2015, vol. 23, no. 6, pp. 7820–7831. doi: 10.1364/OE.23.007820

#### Авторы

**Денисов Андрей Васильевич** — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, АО «НИИ телевидения», Санкт-Петербург, 194021, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0002-1355-3056, [www.denisoff@mail.ru](mailto:www.denisoff@mail.ru)

**Попов Василий Владимирович** — кандидат военных наук, старший научный сотрудник, АО «НИИ телевидения», Санкт-Петербург, 194021, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0002-2714-2943, [v.v.popov@npk-pelengator.ru](mailto:v.v.popov@npk-pelengator.ru)

**Логунов Сергей Владимирович** — кандидат технических наук, преподаватель, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, 197198, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0002-5243-2011, [skobarik83@rambler.ru](mailto:skobarik83@rambler.ru)

**Карев Павел Валерьевич** — генеральный директор, ООО «Промышленная метрология», Санкт-Петербург, 197372, Российская Федерация; аспирант, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, ORCID ID: 0000-0003-3949-8822, [karev\\_p@metrology-spb.ru](mailto:karev_p@metrology-spb.ru)

#### Authors

**Andrey V. Denisov** — PhD, Senior Scientific Researcher, JSC Television Scientific Research Institute, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0002-1355-3056, [www.denisoff@mail.ru](mailto:www.denisoff@mail.ru)

**Vasily V. Popov** — PhD, Senior Scientific Researcher, JSC Television Scientific Research Institute, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0002-2714-2943, [v.v.popov@npk-pelengator.ru](mailto:v.v.popov@npk-pelengator.ru)

**Sergey V. Logunov** — PhD, Lecturer, Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky, Saint Petersburg, 197198, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0002-5243-2011, [skobarik83@rambler.ru](mailto:skobarik83@rambler.ru)

**Pavel V. Karev** — CEO, Industrial Metrology Co LTD, Saint Petersburg, 197372, Russian Federation; Postgraduate, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, ORCID ID: 0000-0003-3949-8822, [karev\\_p@metrology-spb.ru](mailto:karev_p@metrology-spb.ru)