

метрических наблюдений. Сб.: Окологемная астрономия и проблемы изучения малых тел Солнечной системы, М., 2000, стр. 276-290

5. Барабанов С.И. и др., Поисквые наблюдения астероидов, находящихса в резонансе 1:1 с Сатурном, на 2-м телескопе на пике Терскол. Сб.: Окологемная астрономия XXI века, М., 2001, стр. 270-274

6. Смирнов М.а и др.. Комплекс 1-м телескопа в Симеизской обсерватории для наблюдений небесных тел в окологемном космическом пространстве. Сб.: Окологемная астрономия XXI века, М., 2001, стр. 275-282

7. Johnson N. et al. History of on-orbit satellite fragmentations, JSC-28383, Houston TX, July, 1998.

8. Взрывы на окологемных орбитах и их связь с солнечной активностью и потоком метеороидов, Сб.: Окологемная астрономия и проблемы изучения малых тел Солнечной системы, М., 2000, стр. 247-257

9. Rykhlova L.V., Kasimenko T.V., Mikisha A.M. and Smirnov M.A. Explorations in the Geostationary Orbit. Adv.Space Res. Vol. 19, N2, p. 313-319, 1997

10. Смирнов М.А., Микиша А.М., Касименко Т.В., Рыхлова Л.В. Космический мусор и взрывы на окологемных орбитах. Сб.: Окологемная астрономия XXI века, М., 2001, стр. 98-106

11. Микиша А.М., Новикова Е.С., Рыхлова Л.В., Смирнов М.А. Вековая эволюция орбит ИНТ под воздействием светового давления. Сб.: Окологемная астрономия XXI века, М., 2001, стр. 145-149

STUDY OF NEAR-EARTH ARTIFICIAL OBJECTS BY CCD METHODS AND DEVICES

D.Dedenok¹, V.Zubin¹, A.Reznichenko¹, V.Yamnitsky¹, V.Abrosimov², S.Malevinsky², V.Savchenko², A.Kovalchuk³, G.Pinigin³, A.Shulga³

¹Military Scientific Center of Space Investigations, Kharkov, Ukraine, ram@ic.kharkov.ua

²National Control Center and Testing of Space Means, Evpatoria, Ukraine, vys@evp.sf.ukrtel.net

³ Nikolaev astronomical observatory, Nikolaev, Ukraine, root@mao.nikolaev.ua

In a basis of modernization of existing tools and the creations of a new automatic complex principles of CCD receivers using are fixed. The combined method of synchronous accumulation for supervision of determined objects in a combination to a stare mode for reference stars is submitted at angular moving of a telescope tube with speed of the Earth rotation. The artificial objects are observed with help of a fixed telescope in a stare mode. Moving images of stars are observed in a drift-scan mode. It is possible to receive the star-shaped images, both for satellites and for reference stars. The observation moments of all objects are fixed with the help of Time Service devices. The expected observation accuracy of celestial objects in near space by proposed CCD method will be about 0."I. It is possible to provide observation using telescopes AZT-8, KOS "SAZHEN" and KTS in stationary location and SAK as a moving car in an optical range at a wide set of size bases, orbit orientation and under any meteorological conditions in territory of Ukraine.

ВИВЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ У НАКОЛОЗЕМНОМУ КОСМІЧНОМУ ПРОСТОРИ ЗА ДОПОМОГОЮ ПЗЗ МЕТОДІВ І ПРИЛАДІВ, В.П.Деденок, В.І.Зюбін, О.М.Резніченко, В.А.Ямницький, В.М.Абросимов, С.В.Малеви́нський, В.В.Савченко, О.М.Ковальчук, Г.І.Пінігін, О.В.Шульга – У основу модернізації існуючих інструментів і створення нового автоматичного комплексу покладені принципи використання ПЗЗ приймачів. Представлено комбінований метод синхронного накопичення для спостереження об'єктів у сполученні з кадровим режимом для опорних зірок при кутовому переміщенні труби телескопа зі швидкістю добового обертання Землі. При нерухомому телескопі штучний об'єкт спостерігається в кадровому режимі, а зображення зірок, що рухаються, у режимі синхронного переносу заряду. Таким чином, можна одержати зіркоподібні зображення, як для супутника, так і для опорних зірок. Моменти спостережень всіх об'єктів фіксуються за допомогою приладів точного часу. Очікувана точність визначення запропонованим ПЗЗ методом положень космічних об'єктів у ближньому космосі складає біля ± 0.1 як при використанні телескопів на паралактичному монтуванні загального призначення, типу астрографа АЗТ-8, так і інструментах цільового призначення – КОС “САЖЕНЬ”, ШАК. Використовуючи телескопи АЗТ-8, КОС “САЖЕНЬ” і КТС у стаціонарних пунктах спостережень, а ШАК як пересувну установку, можна забезпечити спостереження в оптичному діапазоні при широкому наборі баз по величині й орієнтуванню щодо орбіти об'єкта, що спостерігається, а також практично при будь-яких метеорологічних умовах на території України

ИЗУЧЕНИЕ ОБЪЕКТОВ В ОКОЛОЗЕМНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ С ПОМОЩЬЮ ПЗС МЕТОДОВ И ПРИБОРОВ, В.П.Деденок, В.И.Зюбин, А.М.Резниченко, В.А.Ямницкий, В.М.Абросимов, С.В.Малеви́нский, В.В.Савченко, А.Н.Ковальчук, Г.И.Пинигин, А.В.Шульга - В основу модернізації існуючих інструментів і створення нового автоматичного комплексу положені принципи використання ПЗС приймачів. Представлен комбінований метод синхронного накоплення для спостереження об'єктів у сполученні з кадровим режимом для опорних зірок при кутовому переміщенні труби телескопа зі швидкістю добового обертання Землі. При нерухомому телескопі штучний об'єкт спостерігається в кадровому режимі, а зображення зірок, що рухаються, у режимі синхронного переносу заряду. Таким чином, можна одержати зіркоподібні зображення, як для супутника, так і для опорних зірок. Моменти спостережень всіх об'єктів фіксуються за допомогою приладів точного часу. Очікувана точність визначення запропонованим ПЗС методом положень космічних об'єктів у ближньому космосі складає біля ± 0.1 як при використанні телескопів на паралактичному монтуванні загального призначення, типу астрографа АЗТ-8, так і інструментах цільового призначення – КОС “САЖЕНЬ”, САК. Використовуючи телескопи АЗТ-8, КОС “САЖЕНЬ” і КТС у стаціонарних пунктах спостережень, а САК як пересувну установку, можна забезпечити спостереження в оптичному діапазоні при широкому наборі баз по величині й орієнтуванню щодо орбіти об'єкта, що спостерігається, а також практично при будь-яких метеорологічних умовах на території України

РАЗДЕЛ 1.

Обеспечение эффективного контроля околоземного космического пространства является актуальной общепланетарной проблемой по ряду причин, из которых можно выделить следующие:

- увеличение объектов техногенного происхождения в околоземном пространстве и как следствие возрастание объема космического мусора;

- повышение уровня кометно-астероидной опасности по мере накопления материала о космических объектах естественного происхождения (астероиды, метеороиды, кометы и др.);

- расширение возможностей обнаружения и изучения малых небесных тел различными наземными и космическими методами и средствами и др.

Эффективный контроль и анализ космической обстановки могут быть осуществлены при использовании всего комплекса радиолокационных, радиотехнических и оптических средств с использованием априорной информации, находящейся в каталогах центров контроля космического пространства РФ и США. В настоящее время на Украине существует инфраструктура наземных средств наблюдения, включающая в себя:

- радиолокационные станции дежурного режима;

- крупноапертурные антенные комплексы центра дальней космической связи;

- квантово-оптические средства (КОС) наблюдения космического пространства;

- программно-технический комплекс, готовый решать полный объем задач, связанных с планированием задействования и обработкой результатов измерений разнотипных по составу и принципам построения средств контроля космического пространства, отождествлением космических объектов и ведением каталогов.

В изучении космического пространства немаловажная роль принадлежит средствам оптических наблюдений, в первую очередь, при наблюдениях малоразмерных объектов и объектов, находящихся в области высоких и геостационарных орбит. На них может быть возложено выполнение следующих задач:

- обнаружение космических объектов, орбиты которых проходят через зоны действия оптических средств, как в режиме поиска, так и по предварительным целеуказаниям;

- измерение текущих навигационных параметров космических объектов, пролетающих через зоны действия оптических средств;

- определение и каталогизация отражательных характеристик космических объектов в оптическом диапазоне длин волн, включая получение изображений;

- распознавание однотипных космических объектов;

- определение параметров движения космических объектов вокруг центра масс, формы, габаритных размеров и т.д.

- оценка пространственно-временных характеристик скоплений космического мусора, возникающих при разрушениях объектов на орбитах.

Ограничения на применение радиолокаторов для изучения областей высоких и стационарных орбит связаны с необходимостью генерации мощных электромагнитных полей и физическими законами, в первую очередь, дифракцией радиоволн на объектах, размеры которых сопоставимы с длиной волны радиоизлучения. Основными ограничениями для КОС являются астроклиматические условия в местах размещения и навигационно-

баллистические условия полета (ночное время и солнечная подсветка объекта). В отличие от радиолокационных для оптических средств технически реально повышение проникающей способности до уровня, обеспечивающего наблюдение объектов размером 5-10 см в диапазоне орбит от низких до геостационарных. Об одном из вариантов такого решения пойдет речь ниже.

РАЗДЕЛ 2.

Обладая высокой точностью единичных измерений, средства оптических наблюдений могут эффективно дополнять радиолокационные системы даже при малом времени наблюдения.

На рис 1. приведен пример графиков набора точности прохождения экватора при взятии на сопровождение КА класса «Сич-1» (орбита с наклоном $82,5^\circ$ и высотой 660-680 км) при использовании только РЛС метрового диапазона и при использовании РЛС совместно с квантово-оптической системой «Сажень» (г. Евпатория), полученных методом математического моделирования.

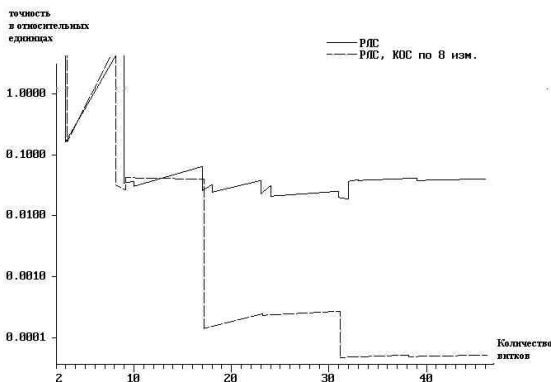


Рис 1. График набора точности при запуске «Сич-1» с использованием РЛС и КОС.

Поскольку при моделировании не учтен ряд возмущающих параметров, среди которых важнейшим являются вариации плотности верхней атмосферы, приведенные на рисунке данные о точности прохождения экватора следует рассматривать только лишь как потенциально достижимые, иллюстрирующие относительный вклад КОС по отношению к РЛС.

Общий вывод, который можно сделать при рассмотрении рис. 1, заключается в том, что привлечение КОС позволяет снизить ошибки взятия КА на сопровождение в 10 - 100 раз по отношению к РЛС.

При использовании оптических средств, оснащенных панорамными приемниками, типа ПЗС, с точностью определения угловых компонент измерений на уровне угловых секунд (без дальномера), следует ожидать дополнительного уменьшения ошибок взятия КА на сопровождение еще в 4...6 раз при прочих равных условиях моделирования.

При моделировании учитывались геогармоники, вплоть до 16-ой и паспортные величины аппаратных ошибок наблюдательных средств.

На витках со 2 по 7 использованы данные РЛС с привлечением априорных данных о параметрах запуска с учетом возможных ошибок выведения, начиная с 7-го витка используются данные КОС «Сажень».

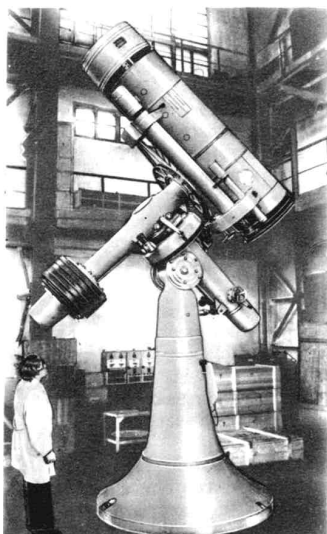


Рис 2. АЗТ-8. Телескоп-рефлектор, предназначенный для исследования астрономических объектов.

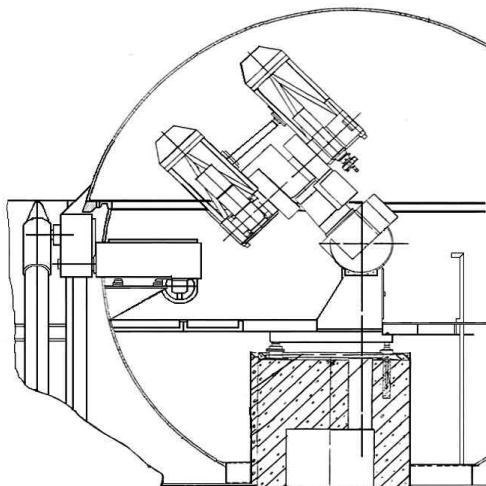


Рис 3. Квантово-оптическая система «Сажень» Наземное автоматическое оптическое средство для наблюдений космических объектов ближнего космоса искусственного и природного происхождения

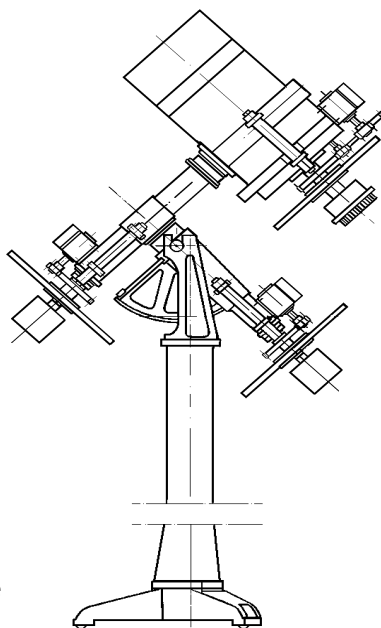


Рис 4. САК-М1.0. Скоростной автоматический комплекс для регистрации небесных объектов естественного и искусственного происхождения в околоземном космическом пространстве (проект).

Таблица 1. Технические характеристики оптических средств

	АЗТ-28к	АЗТ-8	КТС	САК(проект)
Оптические параметры	Рефлектор Система Кассегрена	Рефлектор Система Ньютона	Рефлектор Система Максудова	Рефлектор Система Максудова
D (мм)	500	800	280	280
F (мм)	8200	2650	1500	1500
Монтировка телескопа	параллактическая	параллактическая	азимутальная	параллактическая
Павильон	Башня с раздвижным куполом	Башня с раздвижным куполом	Башня с раздвижным куполом	Передвижная платформа
Наведение телескопа	Автоматическое	Ручное	Автоматическое	Автоматическое
Привод	Электрический	Электрический	Электрический	Электрический
Суточное ведение по звездному времени	<0.25°/мин	<0.25°/мин	<0.25°/мин	<0.25°/мин
Эфемеридное сопровождению ИСЗ	< 2.5°/мин	нет	< 1.5°/мин	нет
Точность предустановки	2'	10"	2'	10"
Лазерный дальномер	есть	нет	нет	нет
Фотометрический канал	есть	нет	есть	есть
Ширина в плоскости первого вертикала, м	2.0	1.9	1.5	0.5
Высота в зенитном положении, м	4.7	5.8	3.1	2.3

Используя телескопы АЗТ-8, КОС «Сажень» и КТС в стационарных пунктах наблюдения, а САК как передвижную установку, можно обеспечить наблюдения в оптическом диапазоне при широком наборе баз по величине и ориентировке относительно орбиты наблюдаемого объекта, а также практически при любых метеорологических условиях на территории Украины.

Необходимо отметить, что заявленный состав КОС обеспечивает решение наиболее важных научных и практических задач:

- координатные измерения ИСЗ (КОС «САЖЕНЬ», АЗТ-8, КТС, САК),

- координатные измерения «космического мусора» (АЗТ-8, КТС, САК),
- измерение дальности до ИСЗ с уголковыми отражателями (КОС «САЖЕНЬ»),

- базисные измерения дальности до ИСЗ без уголковых отражателей и «космического мусора» (КОС «САЖЕНЬ», АЗТ-8, КТС, САК),

- участие в международной программе геофизических лазерных станций (КОС «САЖЕНЬ»).

Необходимым условием эффективного использования КОС является оснащение их современными приемниками оптического излучения – ПЗС камер имеющих возможность работы в режиме синхронного переноса заряда, а также пикосекундными лазерными излучателями и скоростными фотометрическими микрометрами. Сравнительные характеристики перечисленных КОС даны в табл.2.

Таблица 2. Астрономические характеристики оптических средств оснащенных однотипной ПЗС камерой

			КОС «САЖЕНЬ»	АЗТ-8	КТС	САК (проект)
Поле зрения ($\delta \times \alpha$) [*]			7' x 8'	22' x 25'	38' x 43'	38' x 43'
Точность регистрации ПЗС камеры ^{**}			0."05 ÷ 0."5	0."08 ÷ 0."8	0."2 ÷ 2."0	0."2 ÷ 2."0
Высота объекта (тыс. км)	Яркость ($R_{\min} = 1\text{мм}$)	Яркость ($R_{\max} = 5\text{см}$)				
0.5 ^m	19.1 ^m		12.6 ^m	17.0 ^m	15.8 ^m	15.8 ^m
1.0	20.6	10.6 ^m	13.1	17.5	16.3	16.3
10.0	23.1	12.1	15.1	19.6	18.4	18.4
		14.6				
36.0	24.5	16.0	18.2	22.6	21.4	21.4

* - поле зрения приводится для кадрового режима, для режима синхронного накопления ограничений по α нет,

** - предельная точность дана для предельной звездной величины, а лучшая для объектов на две звездные величины ярче.

Оснащенные современными ПЗС камерами, предложенные КОС наблюдательного оптического контура Украины, соответствуют уровню мировых аналогов оптических средств для наблюдения космического мусора (табл.3).

Таблица 3. Оптические средства для наблюдения космического мусора.

Страна	Учреждение	Апертура телескопа $\leq m$	Поле обзора, град.	Тип приемника	Предельная звездная величина	Состояние
	ESA	1		ПЗС	19	в разработке
Франция	Французский национальный центр научных исследований JSF / WALWASDA	0.9	0.5	ПЗС	19	в разработке
	JSF / WALWASDA	1.0	3.0	ПЗС	19.5	в разработке
Япония	Sundai	0.75	0.04	ПЗС	17	рабочее
	CRL	1.5	0.28	ПЗС	18.7	рабочее
РФ	РКА	1	0.2	ПЗС	19	рабочее
РФ	РКА. АН РФ	0.6	0.2	ПЗС	18	рабочее
РФ	РКА	0.6	0.2	TV	19	рабочее
Швейцария	Университет Берна	1	0.5	ПЗС	19.5	рабочее
Англия	Королевская Гринвичская обсерватория AMOD	0.4	0.6	ПЗС	18	рабочее
США	NASA	0.3	1.5	ПЗС	17.1	рабочее
США	NASA	3	0.3	ПЗС	21.5	рабочее

РАЗДЕЛ 4.

Одним из важных вопросов контроля космического пространства с использованием КОС является вопрос наиболее рационального их расположения. В данном случае понятие рациональное расположение характеризуется следующими аспектами:

- функциональным – наличием в точке наблюдений необходимого состава КОС,
- географическим – наиболее выгодное взаимное расположение КОС с точки зрения метеоусловий и совместных (базовых) наблюдений объектов на всевозможных орбитах,
- экономическим – наличие развитой инфраструктуры обеспечения функционирования КОС.

Исходя из вышеперечисленных аспектов можно предложить использование станций КОС на основе существующих пунктов наблюдений и обсерваторий НКАУ (рис. 5).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В заключение, оценивая возможности предложенного контура КОС НКАУ при условии его обновления, модернизации и развития ожидается решение поставленных задач с достаточно высокой эффективностью в роботизированном режиме с управлением с единого центра.



Рис.5. Рациональное расположение наблюдательных пунктов НККУ

Расчетные характеристики такого контура:

- 1) минимальный размер объекта 1–10 см, в зависимости от высоты объекта наблюдения;
- 2) точность определения координат порядка $0.1''$ обеспечивает прогноз положения объекта на сутки вперед с вероятностью 95%;
- 3) точность фотометрических наблюдений около 0.05^m обеспечивает прогноз функционального состояния объекта с вероятностью 95%.

ЛИТЕРАТУРА.

1. Мироненко В.Н., Савченко В.В., Сербин В.М., Цюх А.М. Возможности использования квантово-оптической системы «САЖЕНЬ-С» и АЗТ-8 для исследования космических объектов // Застосування ПЗЗ-методів для досліджень тіл Сонячної системи. Миколаїв. АТОЛ. 2000. С.9-18.

2. Ковальчук О.М., Махов В.О., Мажаяев О.Е., Пинігін Г.І., Процюк Ю.І., Шульга О.В. Автоматичний аксіальний меридіанний круг Миколаївської астрономічної обсерваторії - сучасий стан // Застосування ПЗЗ методів для досліджень тіл Сонячної системи. Миколаїв. АТОЛ. 2000. С.19-32.

Ковальчук А.Н., Пинигин Г.И., Шульга А.В. Скоростной автоматический комплекс для регистрации небесных объектов естественного и искус-

ственного происхождения в околоземном космическом пространстве // Околоземная астрономия и проблемы изучения малых тел Солнечной системы. Москва. ИНАСАН. 2000. С.361–371.

* * *

THE WAYS OF SUPPORTING CATALOGUES FOR NEAR-EARTH ARTIFICIAL OBJECTS FROM OBSERVATION BY OPTICAL MEAN'S

A.M. Reznichenko, V.A. Yamnitsky, V.I. Zyubin, I.I. Mishura

Military Scientific Center of Cosmic Researches, Kharkov, Ukraine, yva-pak@warlock.kharkov.ua

Observation purpose near-Earth artificial objects with the help of optical means is to get or improve characteristics of their motion which are presented in “condition vector” that is a set of orbital parameters of object in any frame to the certain moment in time. Observation by optical means are of great importance in observation of space objects due to their high accuracy. The use of optical observations for these purposes needs in solving several problems, such as to get precise position of the object, to find it in automatic mode and program (or automatic) accompany it on the route, to gather position information, to process of obtained measurements, to find “condition vector” of the object on the measurements, to compile a catalogue for condition vectors of space objects. The ways for solving of mentioned above problems are described in the paper with put into quantum-optic station “Sazhen”.

ШЛЯХИ РІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ВЕДЕННЯ КАТАЛОГІВ ОБ'ЄКТІВ БЛИЖНЬОГО КОСМОСУ НА ОСНОВІ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ОПТИЧНИМИ ЗАСОБАМИ, А.М.Резніченко, В.А.Ямницький, В.І.Зюбин, І.І.Мішура – Метою спостереження об'єктів ближнього космосу за допомогою оптичних засобів є одержання або уточнення характеристик руху цих об'єктів, заданих у вигляді “вектору стану” - набору орбітальних параметрів об'єкта в тій або іншій системі координат на заданий момент часу. Оптичні засоби спостереження грають особливу роль при формуванні каталогів космічних об'єктів, насамперед, у зв'язку з їхньою високою точністю. Використання оптичних спостережень для цієї мети вимагає рішення ряду задач, як-то: формування досить точних цілевказівок (ефемерид), забезпечення програмного ведення оптичного засобу та автоматичного “захоплення” супроводжуваного об'єкта, накопичення координатної інформації про ефемериди об'єкта, осереднення отриманих вимірів по трасі космічного об'єкта, відновлення вектору стану об'єкта за даними вимірів, каталогізації векторів стану космічних об'єктів. У доповіді розглядаються шляхи рішення зазначених задач стосовно до комплексу оптичних засобів КОС “Сажень” (м.Євпаторія).

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ВЕДЕНИЯ КАТАЛОГОВ ОБЪЕКТОВ БЛИЖНЕГО КОСМОСА НА ОСНОВЕ НАБЛЮДЕНИЙ ОПТИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ, А.М.Резниченко, В.А.Ямницкий, В.И.Зюбин, И.И.Мишура – Целью наблюдения объектов ближнего космоса с помощью оптических средств является получение или уточнение характеристик движения этих объектов, заданных в виде “вектора состояния” – набора орбитальных параметров объекта в той или иной системе координат на заданный момент времени. Оптические средства наблюдения