

НАЗЕМНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ, ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ И ЛАЗЕРНО-ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ СРЕДСТВА ТРАЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

*Институт проблем регистрации информации НАН Украины, г. Киев, Украина

Анотація. Наведені опис і окремі характеристики наземних оптичних, оптико-електронних, квантово-оптичних, лазерно-телевізійних засобів і систем високоточних траєкторних вимірювань, що використовуються на науково-дослідних випробувальних полігонах, космодромах, лабораторно-випробувальних базах і майданчиках полігонів раніше і у даний час.

Ключові слова: оптичні засоби траєкторних вимірювань, комплекси, станції, кінотеодоліт, телескоп, траєкторія, вимірювання, полігон.

Аннотация. Приведены описание и отдельные характеристики наземных оптических, оптико-электронных, квантово-оптических, лазерно-телевизионных средств и систем высокоточных траекторных измерений, используемых на научно-исследовательских испытательных полигонах, космодромах, лабораторно-испытательных базах и площадках полигонов ранее и в настоящее время.

Ключевые слова: оптические средства траекторных измерений, комплексы, станции, кинотеодолит, телескоп, траектория, измерения, полигон.

Abstract. The description and individual characteristics of ground-based optical, optical-electronic, quantum-optical, laser-television means and systems of high-precision trajectory measurements used at scientific research proving grounds, cosmodromes and laboratory-test bases and dump areas earlier and at the present time are defined.

Keywords: optical means of trajectory measurements, complexes, stations, cinema theodolite, telescope, trajectory, measurement, dump areas.

1. Введение

Оптические и оптико-электронные средства (комплексы, системы, станции) широко применяются на многих научно-исследовательских испытательных полигонах (НИИП) и лабораторно-испытательных базах полигонов (ЛИБП), космодромах, испытательных площадках [1], при доводочных (летных) испытаниях ракетно-космической (РКТ) и авиационной техники (АТ), отработке образцов вооружения и военной техники (ВВТ), для точного определения координат (азимута, угла места, дальности, а также их первых производных) летательных аппаратов (ЛА), при полигонных испытаниях боеприпасов, стендовых испытаниях морских торпед, фиксации траектории падения ракет, определении промаха при стрельбе по воздушным и морским целям, обнаружении стартовых позиций и запусков ракет дальнего действия; астрономических исследованиях, обработке результатов измерений и их регистрации и др. По значениям внешнетраекторных параметров (ВТП) полета испытуемых объектов (координаты, вектор скорости, угловые положения в пространстве и т.д.) оценивается качество их функционирования и выявляются причины, обусловившие возникновение нештатных ситуаций [2]. Другой сферой применения средств высокоточных траекторных измерений (СВТИ) являются испытание и калибровка вновь создаваемых радиолокационных станций (РЛС) и оптико-электронных комплексов (ОЭК).

Целью статьи является описание наземных оптических, оптико-электронных, квантово-оптических, лазерно-телевизионных средств траекторных и баллистических измерений, используемых на научно-исследовательских испытательных полигонах, лабораторно-испытательных базах, площадках полигонов и космодромах.

2. Современное состояние оптических средств траекторных измерений

Для достоверного анализа качеств испытываемых объектов (ИО) и соответствия реально получаемых тактико-технических характеристик (ТТХ) ИО предъявляемым требованиям необходимо иметь ВТИ, позволяющие выявлять отклонения реальной траектории от заданной (эталонной); оценивать эффективность функционирования ИО; определять причины, вызвавшие несоответствие ТТХ предъявляемым требованиям. Сегодня для измерения ВТП ИО используется аппаратура, работающая на различных физических принципах. Это относится также к оптическим устройствам, в которых реализовано слежение за объектом с целью получения в реальном масштабе времени исходной первичной информации, дальнейшая обработка которой позволяет вычислить ВТП ИО. Существующие средства (аппаратура) для ВТИ представлены образцами [2], работающими как в статическом, так и динамическом режиме (в режиме активного слежения).

Анализ современного состояния измерительных средств, используемых при полигонных испытаниях ИО, показал, что и сегодня на НИИП и космодромах используют кинофототеодолиты (КФТ) типа КФТ-10/20 и их различные модификации, которые устарели и больше не производятся промышленностью. Так, например, на измерительных пунктах (ИП) ряда НИИП [2] имело место оснащение их оптическими средствами измерений, в качестве которых использовались трофейные кинотеодолиты Kth-39, Kth-41 фирмы Askania; КФТ 10/20; модификации КФТ 10/20 «Вика»; высокоточный кинотеодолит ВКТ «Висмутин»; кинотелескоп КТ-50; скоростной кинотелескоп КСТ-630; киносъёмочные телескопы (КСТ-80, КСТ-60); кинотеодолитная станция (КТС) и др. Оптические средства полигона КТh-41 и КТ-50 обеспечивали дальность наблюдения до 100–200 км, а высота орбиты превышала 200 км. Киносъёмочные телескопы КСТ-80 имели дальность примерно 300 – 400 км, но их было только два на близко расположенных ИП (расстояние между ними порядка 100 км). Оптическая аппаратура (кинотеодолиты и кинотелескопы, баллистические фотокамеры и т.п.), широко используемая при проведении ВТИ, стала применяться для этой цели значительно раньше радиотехнической.

На полигонах и космодромах в настоящее время находят применение современные оптико-электронные (ОЭС), электронно-оптические (ЭОС), оптико-лазерные (ОЛС) и лазерно-телевизионные средства (ЛТС). Примерный состав оптико-электронных измерительных средств (ОЭИС) НИИП: ОЭС (мобильный автоматизированный измерительный комплекс «Траектория»); кинотеодолиты (КФТ-10/20, КТ «Вика», КТС, ВКТ «Висмутин», мобильный кинотеодолит МКТ «Велюр»), кинотелескопы (КТС-63, СКТ-1-70, СКТ-2), кино- и фотоаппараты (СКС, АКС, АФА, наземная регистрирующая фотокамера РФК); астроустановки (АФУ, ФАУ, фоторегистрирующая станция ФРС «Дятел», ФРС-2, ФРС-4, перископический лазерный дальномер «Фауна»); ЭОС (высокоточная оптико-электронная теодолитная система «Виола», «Янтарь», «Опал», «Скайстрек», лазерные дальномеры). ОЭИС и комплексы (ОЭИК) были первыми инструментами ЛИБП и до настоящего времени являются неотъемлемым элементом измерительно-вычислительного комплекса (ИВК) любого уровня. Они предназначены не только для траекторных измерений ИО, но и для калибровки радиотехнических измерительных систем. Парк ОЭС обширен [3], разнообразен, возможности их постоянно растут, они обладают только им присущим качеством документирования процесса натурального эксперимента, а также являются самыми точными измерительными инструментами.

3. Оптические и оптико-электронные измерительные средства

К оптическим и оптико-электронным измерительным средствам относят:

– кинотеодолиты (Kth-39, Kth-41 (фирма «Askania»); КФТ 10/20; КФТ «Вика» – модификация КФТ 10/20, КТ «Пашня», КТС полевого типа (КТС-ПТ), КТ-50, ВКТ «Висму-

тин», МКТ «Велюр», МКТ «Велюр-2М», «Велюр-ИТ», малогабаритный телевизионный теодолит МТТ «Контур-Т», мобильный инфракрасный теодолит-радиометр (МИКТ) «Соболь»);

– кинотелескопы (киносъемочные телескопы: КСТ-80, КСТ-50; КСТ-60, КСТ-63, скоростной кинотелескоп СКТ-80; СКТ-1-70, скоростной кинотелескоп СТК-2 «Разум» [4], кинотелескоп СКТ-1-70, телескоп траекторных измерений (ТТИ) наземной оптико-лазерной системы (НОЛС);

– фотоастрономические установки (ФАУ-1, ФАУ-2, ФАУ-2М, ФАУ-3, ФАУ-3/25, «Фауна»), АФУ-75 (телескоп);

– фоторегистрирующие станции (ФРС-2 «Дятел», ФРС-2 «Дятел-2», ФРС-4 «Редан»), мобильный видеорегирующий комплекс «Кратность»;

– лазерные дальнометры (ЛД-1, ЛД-2 – лазерный дальномер, телескоп системы Кассегрена. ЛД-3 – лазерный дальномер, спутниковая лазерная локация, телескоп системы Кассегрена. ЛД «Карат»). ЛД «Карат» предназначен для калибровки по дальности РЛС типа «Кама»;

– оптико-электронные комплексы контроля космического пространства (лазерный оптический локатор контроля космического пространства (ЛОЛ ККП), ОЭК обнаружения космических объектов «Окно», станция оптического слежения «Космотэн», станция лазерной дальнометрии «Майданак», ЛД «Сажень-2», квантово-оптическая система (КОС) «Сажень-С», КОС «Сажень-Т», унифицированная малогабаритная транспортируемая КОС «Сажень-ТОС», малогабаритная многопараметрическая система «Сажень-ТМ», КОС «Сажень-ТМ-БИС», КОС Сажень-ТМ-В, КОС Сажень-ТМ-Д, ММКОС «Сажень-ТА»);

– оптико-лазерные системы и средства ВТИ (мобильная высокоточная однопунктная оптико-электронная станция «Вереск-ЭК», мобильная лазерно-телевизионная станция «Ока», лазерно-телевизионная измерительная станция «Вектор-О», высокоточная координатная лазерная станция «Юкон-М», высокоточный лазерно-телевизионный измерительный комплекс «Мустанг-К», лазерные дальнометры ДЛ-70 и ДЛ-200, высокоточный кино-теодолит «Висмутин» [5], высокоточная оптико-электронная теодолитная система «Виола» [6], инфракрасный теодолит «Велюр-М», малогабаритный телевизионный теодолит «Контур-Т»).

4. Электронно-оптические средства

– кинофотоаппаратура (ССК-2, АСК-2, «Подснежник-1», «Подснежник-2», 4РКС «Гладиолус-1», КСС-453 «Гладиолус-2», 11РКС «Кукуруза», 5РКС «Тюльпан», 3-ОП-866 «Каштан», ССК «Пентацет»;

– ЭОС универсальные («Янтарь», «Опал», «Скайстрек», оптико-электронная теодолитная система «Виола», ОЭС «Опал» – мобильный вариант ОЭС «Янтарь», ОЭС траекторных измерений швейцарской фирмы «CONTRAVES EOTS», впоследствии получившая название ОЭС «Янтарь», ОЭК «Окно», мобильная оптико-электронная станция «Вереск», мобильная высокоточная однопунктная оптико-электронная станция «Вереск-Р»).

5. Лазерно-телевизионные системы траекторных измерений

Мобильные лазерно-телевизионные станции (МЛТС) «Ока-К», «Ока-РК», МЛТС «ОКА-ИК», «Град», «Мустанг-К», высокоточная лазерно-телевизионная измерительная станция (ЛТИС) «Вектор», высокоточная координатная ЛТС «Юкон», «Юкон-М».

Рассмотрим назначение, особенности и возможности каждой группы ОЭС.

Кинотеодолиты (КТ) – это высокоточные измерительные средства, предназначенные для определения параметров траекторных (угловых) координат сопровождаемого объекта методом фотографирования последнего на киноплёнку с определенной выдержкой и

заданной частотой съемки [2]. Дальность действия КТ составляет от единиц до многих километров и определяется как характеристиками главного объектива, так и характером сопровождаемого объекта, метеоусловиями и временем суток при фотографировании. С помощью КТ, размещенных на испытательной трассе по определенному закону, можно качественно и с высокой степенью надежности определять параметры испытываемого объекта на трассе практически любой протяженности. Первыми отечественными КТ были КФТ 10-20 (разработка 1949–1950 гг.), которые до сих пор успешно эксплуатируются на ЛИБП. Частота съемки КТ меняется от 1 кадр/с до 25 кадр/с.

Тактико-технические возможности некоторых КТ приведены в табл. 1.

Таблица 1. Тактико-технические возможности КТ

Тип КТ	Рабочий диапазон	Скорость сопровождения объекта	Точность определения	Фокусное расстояние объектива, мм	Ширина фото-пленки	Размер кадра, мм	Частота съемки	Дальность действия, км	Режим сопровождения
КФТ 10/20	$\beta = 0^\circ - 360^\circ$ $\varepsilon = 0^\circ - 180^\circ$	β до $20^\circ/\text{с}$ ε до $15^\circ/\text{с}$	1'	300, 600, 1000	35	29×36,5	10 и 20	10-40	Ручной
КТ «Вика»	$\beta = 0^\circ - 360^\circ$ $\varepsilon = 0^\circ - 180^\circ$	β до $20^\circ/\text{с}$ ε до $10^\circ/\text{с}$	1,5'	300, 600	35	29×36,5	10 и 20	10-30	Ручной
КТС	$\beta = 0^\circ - 360^\circ$ $\varepsilon = 0^\circ - 5^\circ - 185^\circ$	β до $11^\circ/\text{с}$ ε до $10^\circ/\text{с}$	30"	750, 1500	35	23×24	1, 2, 4, 10	10-60	Ручной и ПА
ВКТ «Висмутин»	$\beta = 0^\circ - 360^\circ$ $-5^\circ - 185^\circ$	β до $30^\circ/\text{с}$ ε до $20^\circ/\text{с}$	10"	1500	35, 120	16×18	1, 5, 10, 25	10-70	ПА и автономный
МКТ «Велюр»	$\beta = \pm 250^\circ$ $\varepsilon = -5^\circ - 185^\circ$	β до $60^\circ/\text{с}$ ε до $60^\circ/\text{с}$	20"	500, 1000	35	16×18	1, 5, 10, 25	10-50	ПА и автономный

Кинотеодолиты Kth-39 и Kth-41 предназначены для определения траектории полета ракеты. Кинотеодолит Kth-39 имел объектив короткий (фокусное расстояние 300мм). Кинотеодолит Kth-41 имел длинный объектив (фокусное расстояние 600 мм). Это 35-мм фотокамеры, которые имели скорость съемки 5 полноразмерных кадров/с. Угловая точность КТ составляла 1 мин. С помощью Kth можно проверять точность огня зенитной артиллерии путём измерения угловых отклонений (и линейных смещений) разрывов снарядов от воздушной цели. В начале 1960-х годов КТh-41 заменили на кинотеодолитную станцию КТС-1 [2].

Кинофототеодолиты (КФТ) предназначены для определения взаимного расположения ракеты и мишени в районе их сближения. КФТ 10/20 – приборы следящего типа с ручным наведением (носитель информации – кинопленка) позволяли регистрировать наблюдаемый объект с частотой 10 или 20 Гц (кадров/с), размер кадра 20x24мм, ёмкость кассет 60 или 120 м, имели небольшой радиус действия и обеспечивали точность угловых измерений порядка 60 угл./с. В КФТ были применены объективы «Таир-3» с фокусным расстоянием 300мм и «Таир-4» с фокусным расстоянием 600мм. На базе КФТ-10/20 разработан КТ «Вика», который серийно выпускался до конца 1980-х гг. и успешно эксплуатируется

на полигонах в настоящее время. КФТ-12М фиксирует подлет самолета и траекторию боеприпаса с привязкой каждого кадра по времени и к месту. КТ «Пашня» (1976-1978) относится к приборам типа «Вика», но с фотоэлектрическим отсчетом углов, что позволило заметно улучшить его характеристики в средствах траекторных измерений (СТИ).

Кинотеодолит КТ-50 (разработка 1954–1956 гг.) предназначен для работы на средних и больших дистанциях, с наведением на ЛА как от РЛС, так и от специального прибора программного наведения. Фокусное расстояние 3000 мм. Частота кино съемки – 1; 5; 10; 25 и 50 Гц, Среднеквадратическая инструментальная ошибка определения координат (погрешность угловых измерений) не хуже 20 угл./с. Диаметр объектива $D=450$ мм, фокусное расстояние $f=3000$ мм. КТ-50 также позволяет определять скорость и ускорение объекта. Способ наведения на объект – автоматический и полуавтоматический, ёмкость кассет 120 метров. КТ-50 выпускался с 1972 по 1976 г. В середине 1960-х годов КТ-50 на измерительных постах (ИП) ликвидировали из-за их низкой эффективности.

Кинотеодолитная станция полевого типа КТС-ПТ (создана в 1957–1959 гг.), состоящая из трех или пяти ИП, предназначена для обеспечения измерений на малых и средних дистанциях. Данное СТИ в комплексе с РЛС также могло наводиться на объект как в ручном, так и в автоматическом режиме. Погрешность измерений составляла до 30 угл./с. КТС-ПТ выпускались практически до середины 1980-х гг. и периодически модернизировались.

Серьезным шагом в создании новых СТИ стала разработка высокоточного кинотеодолита (ВКТ) «Висмутин» (1979–1984).

ВКТ «Висмутин» и «Висмутин-М» (высокоточный модернизированный КТ) предназначены для измерения угловых координат ЛА при сертификации их взлетно-посадочных характеристик (ВПХ); отработки систем автоматической посадки, испытаний систем вооружения и бортовых навигационных комплексов [5]. Данная система относится к приборам среднего класса, имеет регистрирующую кинокамеру, инфракрасную следящую систему, устройства автоматической регулировки экспозиции и автофокусировки. Прибор серийно выпускался до начала 1990-х гг. В настоящее время он модернизирован: кинокамера заменена на телевизионную камеру, что обеспечивает не только получение изображения, но и дополнительный автоматический канал слежения. ТХ: среднеквадратическая инструментальная погрешность (СКИП) теодолита в статике – 10 угл./с СКП привязки моментов определения положения визирной оси к шкале системы единого времени – 30 мкс. Фокусное расстояние объектива, мм, 1500; рабочие скорости слежения, угл.град./с – $0,03 \div 30$; угловое ускорение слежения, угл.град./с – 20; частота регистрации кинокамеры, кадр/с, 1; 5; 10; 25; поле изображения объекта, мм, 16×18 . ВКТ «Висмутин-М» дополнительно оснащен измерительным телевизионным каналом для получения информации в реальном времени. Угловая скорость сопровождения объекта – до 30 град./с; частота съемки достигает 25 Гц; инструментальная среднеквадратическая ошибка (СКО) – 10 угл./с; СКО временной привязки – 30 мкс. ТХ: телевизионный измерительный канал (ТВИК): СКИП определения угловых координат точечных объектов с ТВИК не более в реальном масштабе времени – 30"; при послесенной обработке – 12"; поле зрения ВКТ «Висмутин» с ТВИК не менее – $40' \times 30'$; частота кадров, кадр/с – 25; спектральный рабочий диапазон, нм – 700 ... 800; динамический диапазон телекамеры не менее – 1000; диапазон регулировки времени накопления телекамеры – 16 мкс ... 40 мс. Аппаратура программного наведения: СКП отработки заданной траектории по азимуту и углу места не более 10'; возможность корректировки положения визирной оси по азимуту и углу места – $\pm 20' /с$.

Высокоточная оптико-электронная теодолитная система (ОЭС) «Виола» (1977–1988 гг.) предназначена для измерения пространственных координат ЛА при испытаниях бортовых навигационных комплексов и систем вооружения, сертификации ВПХ, отработке систем автоматической посадки, проведении различных летных экспериментов [6, 7]. ОЭС

«Виола» содержит от трех до шести теодолитных станций, объединенных в единый измерительный комплекс командной станций. Основным измерительным каналом теодолитной станции является киноканал с частотой съемки 1; 5; 10 и 25 Гц. В качестве дополнительных устройств теодолитная станция оснащена инфракрасной и телевизионной следящими системами, а также лазерным дальномером. Кроме работы от собственных каналов автосопровождения, ОЭС «Виола» может функционировать в комплексе с РЛС, а также наводиться на ИО программными средствами. ТХ: СКИП теодолита в статике по фотоканалу не более угл./с, 5. Рабочие скорости слежения, угл.град./с $-0,03 \div 30$. Ускорение слежения, угл.град./с² – 30. Фокусное расстояние объектива фотоканала (переключаемое), мм, 1700 и 3400; поле изображения объекта, мм, 16×18; частота съемки, кадр/с: измерительной кинокамеры 1; 5; 10; 25; скоростной регистрирующей кинокамеры 144; 192; 240; спектральные диапазоны работы, мкм: ИК-канала – 1,8 ÷ 2,7; 1,8 ÷ 5,5; телевизионного канала – 0,7 ÷ 0,8; лазерного дальномера – 1,06; пороговая интегральная чувствительность ИК-канала не хуже Вт/см: при отношении сигнал/шум = 1 (фактическая) 7000; дальность действия лазерного дальномера, м, 25000; погрешность измерений ОЭС «Виола» составляет: по угловым измерениям – 5угл./с, по дальности – 1 м.

Мобильный инфракрасный теодолит «Велюр-М» – СТИ следящего типа, относится к приборам малой дальности и позволяет автоматически следить и измерять угловые координаты светящихся объектов на малой дальности. МИТ «Велюр-М» предназначен для сопровождения ракет и ЛА при наблюдении в заднюю полусферу, определения параметров движения объектов РКТ с измерением угловых координат объекта по его тепловому излучению, а также наблюдения за объектом посредством телевизионной системы [4]. Включает теодолит с телевизионным каналом; визир обзора; аппаратуру управления и регистрации. СКИП определения угловых координат точечного объекта, угл./с, 30; угловая скорость слежения, угл.град./с, 60; угловое ускорение слежения, угл.град./с², 60; частота регистрации измерительной информации на магнитный носитель, Гц, 100; частота выдачи измерительной информации в линию связи, Гц – 1; угол поля зрения инфракрасного канала автоматического слежения за объектом и телевизионного канала – $2W=1^\circ 24'$; фокусное расстояние телевизионного канала, мм, 500.

Инфракрасный теодолит «Велюр-ИТ» предназначен для определения параметров движения объектов РКТ с измерением угловых координат объекта по его тепловому излучению, а также наблюдения за объектом посредством телевизионной системы [8]. Это вариант модернизации «Велюр-М» с дополнительно установленным телевизионным каналом. Технические характеристики. Инструментальная погрешность определения угловых координат точечного объекта, угл./с, 30. Угловая скорость слежения, угл.град./с, 60. Угловое ускорение слежения, угл.град./с², 60. Частота регистрации измерительной информации на магнитный носитель, Гц, 100. Частота выдачи измерительной информации в линию связи, Гц, 1. Угол поля зрения инфракрасного канала автоматического слежения за объектом и телевизионного канала $2W=1^\circ 24'$. Пороговая чувствительность ИК-канала по интегральной облученности от абсолютно-черного тела 300°С в диапазоне длин волн от 1,8 до 5,5 мкм не хуже Вт/см², 1×10^{-10} . Фокусное расстояние телевизионного канала, мм, 500.

Кинотелескопы – высокоточные измерительные средства, предназначенные для определения параметров взаимного (относительного) положения двух и более ИО в пространстве и характера поражения цели методом фотографирования объектов на киноплёнку с большой частотой съемки. Для вычисления параметров взаимного положения объектов в пространстве, зафиксированных на одном кадре в процессе натурального эксперимента, необходима информация с одного кинотелескопа. Каждый кинотелескоп снабжен фотокамерой, которая фотографирует исследуемые объекты, и регистрирующей камерой, которая фиксирует угловое положение главной оптической оси объектива в момент экспонирования объектов. Объективы кинотелескопов светосильные с большими фокусными расстоя-

ниями, визирные устройства имеют 20- и 40-кратные увеличения, управление по азимуту и углу места полуавтоматическое (ПА), функционально связанное с РЛС контроля траектории (типа «Кама-Н», «Кама-ИК», СТ-68), с которой кинотелескопы работают в паре. Дальность действия кинотелескопов составляет от десятков до сотен км и определяется такими же факторами, что и для кинотеодолитов [2]. Кинотелескопы КСТ-80 и КСТ-60 хорошо себя зарекомендовали при обеспечении натуральных экспериментов. До настоящего времени на ЛИБП эксплуатируются кинотелескопы КСТ-63, СКТ-1-70, СКТ-2, ТТХ которых представлены в табл. 2. Следует отметить, что с помощью кинотелескопов можно определять и угловое положение сопровождаемого объекта с последующим вычислением его координат по информации двух приборов, работающих синхронно в режиме пеленгации. Но к этому прибегают только в том случае, если по каким-либо причинам отсутствует информация от кинотеодолитов.

Таблица 2. Тактико-технические возможности кинотелескопов

Тип кинотелескопа	Рабочий диапазон	Скорость сопровождения объекта	Точность определения	Фокусное расстояние объектива, мм	Ширина фото-пленки	Размер кадра, мм	Частота съемки	Дальность действия, км
КСТ-63	$\beta = \pm 270^\circ$ $\varepsilon = 0^\circ-82^\circ$	β до $13^\circ/\text{с}$ ε до $11^\circ/\text{с}$	$\Delta \beta = \Delta \varepsilon = 7''$ $\beta = \varepsilon = 4'$	474	35	18× 24	40-400	10-240
СКТ -1-70	$\beta = \pm 270^\circ$ $\varepsilon = 0^\circ-82^\circ$	β до $10^\circ/\text{с}$ ε до $7^\circ/\text{с}$	$\Delta \beta = \Delta \varepsilon = 5''$ $\beta = \varepsilon = 4'$	2400	80	66× 66	20-100	10-160
СКТ -2	$0^\circ - 360^\circ$ $\varepsilon = 0^\circ-90^\circ$	β до $30^\circ/\text{с}$ ε до $20^\circ/\text{с}$	$\Delta \beta = \Delta \varepsilon = 3''$ $\beta = \varepsilon = 1'$	2400	80	66× 66	25-100	10-180

Системы траекторных измерений следящего типа замыкает СКТ «Разум».

Скоростной кинотелескоп «Разум» предназначен для наблюдения и регистрации весьма удаленных объектов (фокусное расстояние объектива до 12 м) и последующего измерения – пролета ракеты мимо цели, а также для наблюдения на космодромах за полетом ракеты на больших высотах, определения параметров взаимного положения летящих ракет, снарядов и других объектов со скоростной их регистрацией на фотопленку крупным масштабом, записью на видеомагнитофон и отображением на экране видеоконтрольного устройства [3, 4]. СКТ оснащен телевизионными обзорным и следящим каналами, полуавтоматической и автоматической системами фокусировки объектива, системой автоматической регулировки экспозиции. Инструментальная точность угловых измерений составляет 3 угл./с СКИП в пределах угла места от 0° до 60° , не более, угл./с, 30; СКИП определения разности угловых координат двух точечных объектов, находящихся в поле зрения объектива, не более, угл./с, 3; СКП привязки к шкале СЕВ (системы единого времени) не более, мкс: моментов определения положения визирной оси – 100; моментов срабатывания затвора кинокамеры – 100. Угловая скорость слежения, угл.град./с – 20; угловое ускорение слежения, угл.град./с – 20; частота съемки при формате кадра 52x52 мм, кадр/с, $25 \div 100$.

Фотоэлектронные измерители скорости серии ФЭБ-4СМ, ФЭБ-5, ФЭБ-6, ФЭБ-7 позволяют проводить измерения скоростей боеприпасов всех видов и калибров на различных участках траектории, в том числе у преграды, в любое время суток [9]. Различная конструкция измерителей позволяет проводить измерения как в закрытых помещениях (тирах), так и на открытых и необорудованных площадках. Результаты измерений регистрируются баллистическим хронометром «Руш». Основные ТХ «ФЭБ-4СМ»: диапазон измеряемых скоростей – 100...2000 м/с; калибр от 20 мм и выше; размер блокирующей зоны не менее

2x4 м; число измерительных баз-2; длина измерительной базы (установлена стационарно) от 10 до 30 м; погрешность измерения не более 0,15%. Основные ТХ «ФЭБ-5»: диапазон измеряемых скоростей – 100...2000 м/с; калибр от 20 мм и выше; размеры блокирующей зоны – 80 угл.град. (Сектор); число измерительных баз -1; длина измерительной базы, м, 5...20; погрешность измерения не более 0,15 %; основные ТХ «ФЭБ-6»: диапазон измеряемых скоростей – 50...2200 м/с; калибр боеприпасов, мм, более 20; размеры блокирующей зоны – 45 угл.град. (Сектор); число измерительных баз-1; длина измерительной базы, м, 10...20; погрешность измерения – не более 0,15%. Основные ТХ «ФЭБ-7М»: диапазон измеряемых скоростей – 50...1000м/с; калибр от 5..50 мм; размер блокирующей зоны - 0,4x0,7 м; длина измерительной базы, м, 2 (установлена стационарно); погрешность измерения не более 0,15 %.

Астрономические инструменты: АЗТ-1 – астрономический зеркальный телескоп: диаметр апертуры (D)=530мм; фокусное расстояние (f)=1800мм; АЗТ-7 – астрономический зеркальный телескоп: $D=200$ мм; $f=2000$ мм; АЗТ-8 – астрономический зеркальный телескоп: $D=700$ мм; $f=2400$; АЗТ-14 – астрономический зеркальный телескоп: $D=480$ мм; $f=7715$ мм; АЗТ-24 – астрономический зеркальный телескоп 24: $D = 1100$ мм, $f=7970$ мм; АЗТ-27 – астрономический зеркальный телескоп 27, $D= 500$; АЗТ-28, АЗТ-28М – астрономический зеркальный телескоп 28 (сдвоенный АЗТ-27, $D=2\times 500$, $f=8200$ мм; ВАУ – высокоточная астрономическая установка предназначена для фотографирования спутников и ракет по их естественному блеску с целью определения текущих угловых координат их траектории способом привязки к опорным звездам. Установка должна была обеспечить более высокую точность определения координат спутников, особенно слабых, благодаря бездистросионному широкоугольному объективу с большим диаметром рабочего отверстия. D мениска=500 мм, D главного зеркала=1070 мм, $f=700$ мм; БТА – большой телескоп азимутальный: $D=6000$ мм, $f=24000$ мм. Основной задачей телескопов АЗТ-28 является наблюдение низкоорбитальных (от 150 до 20000 км) космических объектов (КО) и получение по ним астрометрической, дальномерной и некоординатной информации. Перед АЗТ-8 стоит задача получения астрометрической и фотометрической информации по геостационарным и высокоэллиптическим КО [10]. Многие станции оптических наблюдений ИСЗ оснащены автоматической фотографической камерой АФУ-75. Фокусное расстояние этой камеры – 73,6 см, диаметр объектива – 21 см. Камера установлена на специальной платформе, представляющей собой устройство для отслеживания суточного вращения звезд в течение 2–3 мин. Камера является универсальной, легко перемещаемой экспедиционной спутниковой фотокамерой. Астрономическая фотографическая установка (АФУ-75) предназначена для наблюдения низких ИСЗ. На телескопе реализован комбинированный метод наблюдений (КМН), который является методом сопровождения объекта на электронном уровне [11]. Суть КМН состоит в том, что изображения наблюдаемого объекта и опорных звезд формируются раздельно, в разных режимах работы ПЗС-камеры или с разным временем экспозиции. В 2010 г. телескоп АФУ-75 работал в составе комплекса телескопов Мобител. Современный вид телескопа – горизонтальная ось установлена на лагерах стоек. Установлены новые приводы наведения по осям угла места и азимута. Телескоп оснащен объективом Сатурн ($D=280$ мм, $F=750$ мм). Поворотная платформа и ПЗС-камера Alta U9000 фирмы Arogee размещены в корпусе лентопротяжного механизма. Поле зрения телескопа составило $2,8^\circ \times 2,8^\circ$. Угловой размер пикселя без бинирования составляет 3,33». Скорость вращения ПЗС-камеры поворотной платформой составляет $6^\circ/\text{с}$, погрешность наведения $0,1^\circ$. Здесь ПЗС – прибор с зарядовой связью, общее обозначение класса полупроводниковых приборов, в которых применяется технология управляемого переноса заряда в объёме полупроводника. В отличие от других типов фотографических телескопов спутниковые фотокамеры снабжаются устройством для точной регистрации момента наблюдений (с точностью до долей миллисекунды, мс). Поскольку спутники, как прави-

ло, представляют собой слабосветящиеся объекты, то для получения почернения на фотоэмульсии необходима довольно продолжительная экспозиция (секунды, а иногда и минуты). Чтобы изображение спутника, быстро движущегося по небу, не ползло по фотоэмульсии (иначе даже при длительной экспозиции изображения спутника не получатся), кассета с фотопленкой (или фотопластинкой) в АФУ-75 может перемещаться вслед за движущимся изображением спутника. Это вторая особенность таких фотокамер. Приводы оснащены шаговыми двигателями Nanotec и 12-битными датчиками угла ASC 6008. Для управления телескопом используется программное обеспечение.

Лазерный спутниковый дальномер (ЛСД) предназначен для измерения расстояний до ИСЗ. Лазерный дальномер имеет счетчик интервалов времени, который включается в момент выхода импульса света из дальномера и выключается в момент возвращения отраженного света [12]. На ЛСД применяют счетчики времени, регистрирующие интервалы времени с точностью 1:1 000 000 000 с (такая единица времени называется наносекундой, нс) и даже точнее. Это позволяет определять расстояния до спутника с точностью 10–15 см. На таком же принципе построены лазерные дальномеры для определения расстояний до Луны. Они монтируются обычно на больших телескопах. В этом случае луч света на Луне отражается от уголковых отражателей, смонтированных на луноходах.

Приведем примеры крупнейших телескопов [15].

Большой алтайский телескоп для траекторных и сигнальных измерений с диаметром зеркала 3,12 м (ТИ-3.12м) Алтайского оптико-лазерного центра для решения широкого круга задач: регистрации детальных изображений КА по отраженному солнечному излучению с угловым разрешением 0,044 угл./с; распознавания КА; получения детальных изображений КА с лазерным подсветом; распознавания состояния КА и определения параметров космического мусора (КМ) размером до 20 см на дальности 36000 км; проведения многопараметрического контроля космических объектов (КО) в диапазоне волн от ультрафиолетового до среднего инфракрасного диапазона; проведения лазерных измерений параметров орбит КА в составе международной службы лазерной дальнометрии. На территории центра установлены 60-см телескоп (двухменисковый Кассегрен) траекторных измерений с лазером (дальность действия лазерного луча – от 500 км до 40 тысяч км; точность координат ИСЗ – до 1 см); «VT-07b» – 35-см телескоп модифицированной системы Рихтера-Слефогта (D=350 мм, F=855 мм, поле зрения 3,5 гр, масштаб изображения 4,15 мкм/с дуги, пропускание 18,0 зв. вел.; 150 мм двухменисковый Кассегрен; 250 мм двухменисковый Кассегрен; 3,12-метровый телескоп. Телескоп «Субару» – это телескоп-рефлектор, выполненный по оптической схеме Ричи – Кретьена с главным зеркалом гиперболической формы. Это один из самых больших в мире работающих оптических телескопов с диаметром главного зеркала более восьми метров. Большой южно-африканский телескоп (SALT) – самый крупный из действующих оптических телескопов для наблюдений за южной полусферой. Его главное зеркало с размерами 11,1×9,8 метра состоит из девяти одной шестиугольной пластины. По своей архитектуре SALT подобен «Субару» и паре других известных телескопов обсерватории Мауна-Кеа. GTC – Большой Канарский телескоп является самым большим и самым совершенным наземным оптическим телескопом. Его главное зеркало диаметром 10,4 метра состоит из тридцати шести сегментов и считается самым совершенным из когда-либо созданных. LSST – поколение больших телескопов с диаметром главного зеркала до 10 м. В северной части Чили запланировано строительство широкоугольного обзорного телескопа-рефлектора Large Synoptic Survey Telescope (LSST) Ожидается, что он будет обладать самым большим полем зрения (семь видимых диаметров Солнца) и камерой с разрешением 3,2 гигапикселя. Основной задачей станут наблюдения за объектами со сверхслабой светимостью, включая астероиды, угрожающие Земле. По данным LSST, предполагается строить интерактивную и постоянно обновляемую карту звездного неба со свободным доступом через интернет. GMT – Гигантский Ма-

гелланов телескоп – перспективный астрономический инструмент, создаваемый в обсерватории Лас-Кампанас в Чили. Главным элементом этого телескопа нового поколения станет составное зеркало из семи вогнутых сегментов общим диаметром 24,5 метра. Даже с учётом вносимых атмосферой искажений детальность сделанных им снимков будет примерно в десять раз выше, чем у орбитального телескопа «Хаббл». ТМТ – 30-метровый телескоп – ещё один проект оптического телескопа нового поколения для обсерватории Мауна-Кеа. Главное зеркало диаметром в 30 м будет выполнено из 492 сегментов. Его разрешающая способность оценивается как в двенадцать раз превышающая таковую у «Хаббла». E-ELT – Европейский чрезвычайно большой телескоп. Проектом предусмотрено его создание в пустыне Атакама в Чили к 2018 году. Диаметр главного зеркала составит 39,3 метра. Оно будет состоять из 798 шестиугольных сегментов, каждое из которых около полутора метров в поперечнике.

Роботизированный телескоп «Цимлат» (Zimmerwald Laser and Astrometric Telescope) обсерватории Циммервальд астрономического института Бернского университета (Швейцария). Географические координаты: 46°52'38" с.ш., 7°27'54,8" в.д.). Представляет собой автоматический квантово-электронный комплекс, решающий задачи астрометрии КО естественного и искусственного происхождения, а также измерения дальности до КА на высоте 300–23000 км в режиме СЛД. В дневное время и в сумерки «Цимлат» функционирует только в качестве ЛД. В ночное время возможны как астрометрия КО, так и работа в режиме СЛД. Для астрометрических наблюдений на «Цимлат» установлены две видеокамеры на длине фокуса 4 м: КМОП «Андор Нео» (фирма «Андор») и ПЗС SI1100 («Спектрал»). Фотометрирование КА осуществляется ПЗС-камерой серией кадров формата 200 x 200 пикселей (2,60' x 2,60'), центрированных на объекте. Интервал дискретизации составляет примерно удвоенное значение времени накопления [14]. Наблюдение за низкоорбитальными КА ведется в течение всего их прохода в кадре, а за средне- и высокоорбитальными – в течение заданных интервалов времени (не более 20 мин). Здесь КМОП (комплементарная структура металл-оксид-полупроводник – набор полупроводниковых технологий построения интегральных микросхем и соответствующая ей схемотехника микросхем. Подавляющее большинство современных цифровых микросхем – КМОП.

Телескопы «Тарот» и «Тарот-S» (OUTH) (Telescopes a Action Rapide pour les Objets Transitoires) – быстродействующие роботизированные телескопы. Конструктивно они идентичны. Управление ими осуществляется через глобальную информационную сеть Интернет или в оперативном режиме через специальную сеть регистрации гамма-вспышек в глубоком космосе GCN (Gamma-ray Coordinates Network). План работы корректируется после каждого запроса. Изображения объектов, получаемые в формате RAW, обрабатываются автоматически и выдаются оператору через браузер. Ежегодно телескопы «Тарот» и «Тарот-S» предоставляют около 80 тыс. изображений [14, 15].

Фотоастрономические установки (ФАУ-1, ФАУ-2, ФАУ-2М, ФАУ-3, Фауна) осуществляли регистрацию ИСЗ на фоне звездного неба для решения задач космической геодезии и имели точную систему наведения с отслеживанием суточного вращения Земли, а также автоматизированную систему синхронизации фотографирования ИСЗ по сигналам единого времени, передаваемым по радио. ФАУ используются для оптической локации КА по вспышкам импульсной лампы. ФАУ фотографирует на пленку чувствительностью 1000 ед. звездное небо по целеуказаниям, а на снимках можно было среди звезд разыскать КА по его световой сигнализации. Такая локация позволяет определять положение КА с погрешностью 3–6 угловых секунд, уточняя его орбиту [2, 7]. ФАУ-2 предназначена для фотографирования ИСЗ на фоне ночного неба при нормальных оптико-атмосферных условиях с целью определения их координат в момент фотографирования. В отличие от спутниковых фотокамер ФАУ-75 она не могла фотографировать «пассивные» в оптическом плане ИСЗ и снимала лишь вспышки специальной световой сигнализации на борту ИСЗ [2].

Спутниковая фотографическая камера – астрономический инструмент (фотографический телескоп) для фотографических наблюдений ИСЗ. Представляет собой широкоугольную фотографическую камеру с объективом большого диаметра, снабженную быстродействующим затвором и устройством для точной регистрации моментов времени его открывания и закрывания [16]. В отличие от других типов фотографических телескопов спутниковые фотокамеры снабжаются устройством для точной регистрации момента наблюдений (с точностью до долей миллисекунды). Существуют разные конструкции спутниковых фотокамер, предназначенные для наблюдений спутников в стационарных условиях на обсерваториях, а также для наблюдений в экспедициях.

Большая спутниковая фотографическая камера ВАУ отличается высокой проникающей способностью, с зеркально-линзовым объективом. Диаметр главного зеркала у этой камеры – 107 см, диаметр входного отверстия и коррекционной линзы – 70 см, фокусное расстояние – 70 см. Фотографирование производится на длинную фотопленку размером 6х36 см. Фотокамера ВАУ позволяет фотографировать очень слабые спутники и межпланетные станции на расстоянии многих десятков тысяч километров [16].

Оптический теодолит большой ОТ-58 предназначен для угловых измерений на пунктах геодезической сети 2–4 классов и при развитии опорных геодезических сетей специального назначения (ОГСС), а также для определения астрономических азимутов с точностью 10". В действительности данный теодолит [17] – полная копия немецкого теодолита оптического высокоточного Th-B («Carl Zeiss», Йена), который использовался при астрономических наблюдениях. Характеристики: точность измерения углов одним приемом – 1»; диаметр свободного отверстия объектива – 60 мм; увеличение зрительной трубы – 24, 30, 40 х; фокусное расстояние – 350 мм; наименьшее расстояние визирования – 5 м; угол поля зрения – 1°; диаметр горизонтального круга 125 мм (вертикального – 100 мм); цена круглого уровня 2-5'; цена цилиндрического уровня 6–9»; цена контактного уровня вертикального круга 10–12». Оптическими называют теодолиты с прозрачными лимбами. Появившаяся возможность считывания в проходящем свете тончайших рисок, нанесенных на стекло, резко повысила точность измерения. Оптические теодолиты стали быстро вытеснять теодолиты с металлическими лимбами, считывание показаний которых было возможно только в отраженном свете.

Станция оптического наблюдения (СОН) предназначена для поиска, обнаружения и сопровождения воздушных и наземных объектов в видимом и ИК диапазонах спектра, измерения угловых координат объектов, обработки и передачи результатов измерений и видеоизображений в реальном времени [18]. СОН может интегрироваться в системы оптико-электронного наблюдения, включающие РЛС. Дальность действия телевизионного канала узкого поля зрения: обнаружение – 15,0 км; распознавание – 8,0 км. Транспортное средство (2,3х2,3 м): обнаружение – 17,0 км; распознавание – 9,0 км. Дальность действия тепловизионного канала. Человек (1,8х0,5 м): обнаружение – 10,0 км; распознавание – 3,0 км. Транспортное средство (2,3х2,3 м): обнаружение – 12 км; распознавание – 5,0 км. ТХ каналов: широкопольный телевизионный канал: угол поля зрения 14,74° х 11; тип матрицы – ПЗС, ½ дюйма; протокол передачи видеосигнала – GigEVision. Узкопольный телевизионный канал: угол поля зрения 2,46° х 1,83°; тип матрицы - ПЗС, ½ дюйма; протокол передачи видеосигнала – GigEVision. Тепловизионный канал: угол поля зрения 4,15° х 3,11; тип сенсора – неохлаждаемая микроболометрическая матрица; размер пикселя – 17µm х 17µm; спектральный диапазон – 8...14 µm; протокол передачи видеосигнала – Ethernet. Углы обзора: по азимуту – без ограничения; по углу места - от минус 15° до + 85°.

Электронные теодолиты (ЭТ). К числу современных ЭТ относятся теодолиты T1000 и T2000, T2000S (Швейцария), Eth3 и Eth4 (ФРГ), приборы серий DTr EtL и NE (Япония) и др. [19]. ЭТ T2000S фирмы Вильд–Херр бругг (Швейцария). Зрительная труба в этом теодолите имеет прямое изображение и увеличение 26, 35, 43 и 59. Имеются два режима рабо-

ты: простой и следящий или 0,1; на экран дисплея выводятся значения измеренных углов. Регистратор хранит записанную информацию, ведет математическую обработку результатов измерений согласно заданной программе. К регистратору можно подключать компьютер. Теодолит Т2000S надежен и обеспечивает высокую точность измерений ($m=0,5$ без учета влияния внешней среды). ЭТ серии ТЕО Vega – теодолиты ТЕО5В и ТЕО20В предназначены для измерения вертикальных и горизонтальных углов. При использовании ЭТ исключаются ошибки снятия отсчета. Значения углов выводятся автоматически на дисплей, расположенный на каждой стороне прибора. Предусмотрена установка нулевого значения на исходное направление и фиксирование отсчета по горизонтальному кругу. ЭТ VEGA ТЕО-5В предназначен для измерения углов при создании плановых и высотных съемочных сетей. Значение измеренных углов высвечивается на цифровом табло с точностью до 5». Значение вертикального угла может отображаться в градусах или, как уклон, в процентах. Объектив – 42 мм; увеличение, крат, 30 х; изображение – прямое; поле зрения – $1^{\circ}20'$; минимальное фокусное расстояние – 2м; минимальное фокусное расстояние – 5»; дисплей – двухсторонний; интерфейс – RS232С. ЭТ VEGA ТЕО-20В – удобный дисплей с подсветкой; увеличение, крат, 30; точность измерения углов (СКО измерения угла одним приемом) – 20; дисплей – 2 строки х 10 символов, двухсторонний дисплей. ЭТ серии 200 – компания FOIF (Китай) производит электронные теодолиты серии 200 (DT202С, DT205С). Эта серия имеет только двухсекундный и пятисекундный теодолиты. Теодолиты этой серии с одноосевым компенсатором при вертикальном круге имеют двухстороннюю панель управления (4-строчный жидкокристаллический дисплей, 6-клавишная клавиатура), оптический центрир и коммуникационный порт RS232. В серии существуют несколько модификаций теодолитов: возможна поставка инструментов этой серии с лазерным центриром и с односторонней панелью управления. Угловые измерения: минимальная цена деления отсчета - $2''/5''/10''/20''$ (выбирается); точность (СКО) – $\pm 2''$ у DT202С и $\pm 5''$ у DT205С. ЭТ серии ET компании South (Китай). ET-02 – точный теодолит с одноосевым компенсатором при вертикальном круге. ET-05 – менее точная модель с одноосевым компенсатором при вертикальном круге. ET-10, ET-20 – технические теодолиты с одноосевым компенсатором при вертикальном круге. Для моделей ET-02 и ET-05 предусмотрена возможность установки электронного дальномера серии ND производства компании South. Характеристики угловых измерений – минимальная цена деления отсчета (выбирается): $1''/5''$ (ET-02, ET-05); $10''/20''$ (ET-10, ET-20); точность (СКО) - $\pm 2''$ (ET-02), $\pm 5''$ (ET-05), $\pm 10''$ (ET-10), $\pm 20''$ (ET-20).

Малогобаритный телевизионный теодолит «Контур-Т» предназначен для регистрации на магнитный носитель в цифровом виде изображения ЛА и служебной информации для последующего определения угловых координат ЛА и осуществления объективного контроля при проведении стрельб средствами ПВО. Фокусное расстояние основного объектива, мм, 300; среднеквадратическая инструментальная погрешность определения угловых координат точечного объекта в статике при угле места не более 60° , не более $15''$. Частота регистрации информации, Гц, 50; среднеквадратическая погрешность привязки к шкале аппаратуры СЕВ типа «Жасмин» или «Секунда» не более: моментов определения визирной оси – 50 мкс; момента середины экспозиции объекта – 1 мс [20].

Мобильный автоматизированный измерительный комплекс «Траектория» (МАИК «Траектория») предназначен для ВТИ угловых координат и видеорегистрации движения боеприпасов ракетно-артиллерийского вооружения на управляемом, активном участках траектории и функционирования их у цели [21]. Обеспечивает высокоскоростную видеосъемку с привязкой каждого кадра по времени и GPS. Область применения: определение ВТП движения боеприпасов (пространственные координаты, скорость, ускорения и др.) в условиях их оптического обнаружения (по контрастному изображению боеприпаса, бортовому источнику излучения, вспышки или выброса грунта от разрыва боевой части и др.) в

виде дискретных текущих значений в функции времени, а также в узловых точках, характеризующих вылет снаряда из канала ствола или сход с направляющей; начало и конец работы реактивных двигателей; точки коррекции управляемых боеприпасов; отделение боевых и вспомогательных элементов; срабатывание боевой части (воздушный или наземный взрыв, раскрытие боевой части и др.); место падения снарядов или попадания в цель. МАИК «Траектория» способен сопровождать цели, движущиеся с угловыми скоростями, превышающими 80 град./с, осуществляя их видеорегистрацию с частотой до 1000 кадров/секунду (значение достигается при уменьшении формата кадра) с возможностью последующей обработки видеoinформации с погрешностями измерения не более 30 угловых секунд. В состав МАИК входит телевизионный теодолит ТВТ-3-1, включающий телевизионную измерительную систему (ТИС) и телевизионную панорамную систему (ТПС). Основные ТТХ ТИС: СКП измерения угловых координат (азимута и места), секунд, не более 20; углы поля зрения, градусов, не менее 5x4; максимальная частота кадров при полном формате кадра, Гц, 100. Основные ТТХ ТПС: СКП измерения угловых координат (азимута и места), секунд, не более 50; углы поля зрения, градусов, не менее 28x20; максимальная частота кадров при полном формате кадра, Гц, 30.

6. Лазерно-телевизионные станции измерений

Мобильные высокоточные лазерно-телевизионные измерительные комплексы и станции «Ока-К», «Ока-РК», «Град», «Мустанг-К» предназначены для измерения координат, скорости и яркостных характеристик летательных аппаратов и других высокодинамичных объектов (до 30 град./с) [3, 22].

Высокоточная лазерно-телевизионная измерительная станция (ВЛТИС) «Вектор» предназначена [23, 24] для точного определения координат ЛА (азимута, угла места, дальности, а также их первых производных) на дальностях до 8–100 км, обработки результатов измерений и регистрации измеренной координатной информации и телевизионного изображения объекта наблюдения на компакт-дисках, для передачи измеренной информации внешнему потребителю; для послесекансной обработки измеренной информации и построения измерений в графическом и табличном видах. Оптическая схема станции позволяет использовать, в зависимости от конкретного назначения станции, лазеры с различной длиной волны: 0,53 мкм (зеленые), 1,06 мкм (ближний ИК диапазон) и 1,54 мкм (безопасные для глаз). Наличие измерительного телевизионного и лазерного каналов позволяет использовать станцию для решения широкого класса задач в различных условиях видимости и при работе по различным объектам. Технические характеристики: рабочие секторы станции: по азимуту, град., 0 – 360; по углу места, град., от –3 до +75; по дальности, км, 0,2 – 50; время обнаружения с момента выдачи целеуказания, с, не более 30; скорость сопровождения объекта, град./с, не менее 20. Максимальная скорость слежения 20–30 угл.град./с; максимальная дальность действия лазерного канала 80 км. ВЛТИС «Вектор-О» [24] предназначена для точного определения координат ЛА (азимута, угла места, дальности, а также их первых производных по времени), обработки результатов измерений и их регистрации. Оптическая схема станции позволяет использовать, в зависимости от конкретного назначения станции, лазеры с различной длиной волны. Наличие измерительного телевизионного и лазерного каналов позволяет использовать станцию для решения широкого класса задач в различных условиях видимости. Угловая скорость сопровождения объекта – до 20 град./с; частота съемки достигает 10 Гц; СКО проводимых измерений координат – до 10 угл./с и до 0,3 м по дальности.

Лазерная локационная станция «Юокон» предназначалась для калибровки новых больших РЛС типа «Аргунь», но по своим возможностям станция задумывалась как гораздо более широкофункциональная, с ее помощью проводились настройка и отработка аппаратуры и матобеспечения при работе по спутникам. Станция должна была работать по раз-

личным объектам, таким как крылатые ракеты, скоростные и низколетящие самолёты и вертолеты, морские цели, ИСЗ, начиная от низколетящих до специальных ИСЗ, предназначенных для калибровки всемирной сети высокоточных лазерных дальномеров. В станции «Юкон» были применены схема распределенного вычислительного комплекса [3, 22], а также многоканальная фотодиодная матрица с электрооптическим усилителем яркости. В 80-е годы это было принципиально новое решение.

Высокоточная координатная лазерно-телевизионная станция (ВКЛТС) «Юкон-М» с лазерным и телевизионным каналами предназначена [22] для измерения координат КА и ЛА как в полярной (дальность, углы, скорость, ускорение), так и в прямоугольной системе координат в реальном времени; регистрации измеренной координатной информации и телевизионного изображения ОИ на компакт-дисках; для передачи измеренной информации внешнему потребителю; послесеансной обработки измеренной информации и построения результатов измерений в графическом и табличном видах. Параметры ВКЛТС: система осей ОЭУ – азимутально-угломестная; диапазон рабочих угловых перемещений: по азимуту $0^\circ \dots 360^\circ$, по углу места минус $5^\circ \dots +85^\circ$; максимальная скорость слежения – по азимуту и углу места, угл.град./с, 10 (15); максимальное ускорение слежения – по азимуту и углу места, угл.град./с, 10 (15); максимальная дальность действия лазерного канала, км, 8000 (20 000); СКП – по дальности, м, 0,1; по угловым координатам, угл./с, 3–5; частота регистрации измерительной информации, Гц, 25.

Малогабаритная лазерно-телевизионная станция (МЛТС) «ОКА» предназначена для измерения координат, скорости и сигнатурных характеристик (яркости и эффективной площади рассеяния) ЛА и других высокодинамичных объектов (до 30 град./с), в том числе низколетящих и супердинамичных [3, 22]. Станция имеет лазерный и телевизионный каналы измерения. Лазерный канал обеспечивает измерение активным импульсным методом угловых координат, дальности и скорости объекта. Телевизионный канал обеспечивает измерение угловых координат. В состав станции входят средства отображения цифровой, телевизионной информации, аппаратура для передачи информации удаленному пользователю и получения целеуказаний от радиолокационного модуля. Угловая скорость сопровождения объекта – до 30 град./с; СКО проводимых измерений координат – до 15 угл./с и до 0,3 м по дальности.

Малогабаритная лазерно-телевизионная станция (МЛТС) «ОКА-ИК» – мобильная ЛТС с лазерным, телевизионным и тепловизионным каналами для измерения координат ЛА, регистрации измеренной координатной информации и телевизионного изображения объекта наблюдения на компакт-дисках, передачи измеренной информации внешнему потребителю; послесеансной обработки измеренной информации и построения измерений в графическом виде [22]. Диапазон угловых перемещений: по азимуту – 0-360 градусов, по углу места – от минус 5 до плюс 85 градусов. Максимальная скорость слежения 30–45 угл.град./с. Максимальная дальность действия лазерного канала 35 км.

7. Оптико-электронные комплексы и системы

Оптико-электронная станция кругового обзора «Феникс» обеспечивает систематический круговой обзор пространства в поле обзора по углу места 20° при пространственном разрешении 0,5 мрад., автоматическое обнаружение, математическое сопровождение и определение приоритетности целей, а также выдачу целеуказания для канала слежения. Канал слежения за целью состоит из узкопольного тепловизора, совмещённого с лазерным дальномером. Предназначен для доразведки цели и наведения пусковой установки. Лазерный дальномер используется только в ограниченном количестве ситуаций. Управляется командами целеуказания со станции обнаружения. Модуль обеспечивает круглосуточность действия, скрытность функционирования и высокую точность наведения [26]. Основные ТХ: дальность обнаружения целей, км: низколетящих ракет 5–7; вертолетов 8–9; истребителей

более 15–18; транспортных самолетов более 20; спектральный диапазон, мкм, 8–12; количество одновременно сопровождаемых целей до 100.

Оптико-электронный комплекс (ОЭК) «Окно» системы контроля космического пространства (СККП) предназначен для оперативного получения сведений о космической обстановке, каталогизации космических объектов (КО) искусственного происхождения, определения их класса, назначения и текущего состояния [27]. Комплекс позволяет обнаруживать любые КО на высотах от 2000 м – 40000 м и вплоть до геостационарной орбиты; производить обнаружение, распознавание и вычисление орбит КО в автоматическом режиме на высотах от 2 тыс. до 40 тыс. км и размером более одного метра. Комплекс также способен осуществлять автоматическое обнаружение различных КО на высотах от 120 км до 40 000 км, сбор по этим объектам фотометрической и координатной информации, расчет параметров движения КО и передачу результатов проведенной обработки на вышестоящие командные пункты. В состав ОЭК «Окно» входят оптико-электронная станция (ОЭСт) измерения угловых координат и фотометрирования космических объектов, ОЭСт обнаружения стационарных КО, узел связи и передачи информации. Характеристики ОЭСт обнаружения: зона обзора по азимуту, град.

, 0–360; зона обзора по углу места, градусов, 20–90; диаметр главного зеркала, мм, 1100; диапазон рабочих высот, км, 40 000. Обнаружение КО: автоматическое. Характеристики ОЭСт измерения угловых координат и фотометрирования КО: зона обзора, по азимуту, град., 360; зона обзора, по углу места, градусов, 20 – 90; диаметр объективов узкоугольного канала, мм, 500; диаметр объективов широкоугольного канала, мм, 235; максимальная угловая скорость слежения, град./с, 3,7.

ОЭК «Окно-М» – модернизированный ОЭК обнаружения КО СККП предназначен для сбора информации по КО и контроля геостационарной области космического пространства [27]. Характеристики ОЭК обнаружения: зона обзора по азимуту, градусов, 0–360; зона обзора по углу места, градусов, 20–90; диаметр главного зеркала, мм, 1100; диапазон рабочих высот, км, 50 000; обнаружение КО – автоматическое. Наличие современной телевизионной аппаратуры обнаружения и вычислительных средств нового поколения позволили в несколько раз увеличить обнаружительные характеристики, пропускную способность комплекса и его возможности по обработке данных о КО на орбитах в диапазоне высот от 120 км до 40 000 км.

Оптико-электронная система (ОЭС) «Янтарь» – лазерно-дальномерная система слежения швейцарской фирмы «Contraves», одна из наиболее совершенных систем ВТИ такого класса, используемых на НИИП ряда стран [2, 28], по своим техническим характеристикам значительно превосходит находящиеся в эксплуатации существующие средства СВТИ. ОЭС «Янтарь» предназначена для измерения дальности, азимута, угла места, высоты, скорости для определения координат центра масс (X , Y , Z), составляющих скорости (V_x , V_y , V_z) и других параметров ЛА. Инструментальная ошибка кинотеодолита системы не превышала 5 угловых секунд. Такой точности не имело ни одно выпускаемое отечественной промышленностью оптическое измерительное средство. Подобное измерительное средство – ОЭС «Опал», мобильный вариант ОЭС «Янтарь».

8. Оптико-лазерные системы и средства траекторных измерений

Мобильная оптико-электронная станция «Вереск» (МОЭС «Вереск») предназначена для проведения ТИ полета цели: самолетов, вертолетов, ракет, трасс снарядов, обработки и передачи результатов измерений и видеоизображения в реальном масштабе времени, автоматического сопровождения объектов измерения с подвижных и стационарных измерительных постов [3, 29]. МОЭС «Вереск» входит в состав средств измерения полигонов и может быть использована при проведении испытаний нового вооружения, а также в ходе боевой подготовки видов вооруженных сил при оценке результатов боевых стрельб. Осно-

вные характеристики: рабочий спектральный диапазон, мкм: телевизионного блока – 0,6 – 0,9; тепловизионного блока – 3,0 – 5,0 ± 0,1; лазерного дальномера – 1,064; диапазон углов поля зрения, град.: телевизионного блока – 1° 33′ – 7° 44′; тепловизионного блока – от 1° – 4,5°; время перевода системы из походного положения в рабочее, ч, не более 4; диапазон рабочих температур, °С, -25 до +50. Сейчас на полигонах взамен выработавших ресурс станций ВКТ «Висмутин» устанавливают мобильную высокоточную однопунктную радиоэлектронную станцию МОЭС «Вереск-Р» и мобильную (транспортируемую) многоканальную оптико-электронную станцию «Вереск-М».

МОЭС «Вереск-ЭК» – мобильная высокоточная однопунктная ОЭС разработана для проведения ВТИ в реальном масштабе времени при аттестации ЛА в условиях испытаний и может быть использована для существенного улучшения ТТХ как существующих, так и вновь разрабатываемых ЛА. Она предназначена для проведения ТИ полета цели (ракет, снарядов), обработки и передачи результатов измерений и видеоизображения в реальном масштабе времени, автоматического сопровождения объектов измерения. Станция входит в состав средств измерения полигонов и может быть использована при аттестации ЛА в условиях испытаний, а также для существенного улучшения ТТХ как существующих, так и вновь разрабатываемых ЛА. В состав станции входят оптико-электронный теодолит, который включает телевизионный блок, и ЛД. Углы поля зрения входящих в состав модулей – от 0,3 до 5–15 градусов; угловая скорость сопровождения объекта – до 30 град./с по углу места и до 100 град./с – по углу азимута; частота съемки достигает 30 Гц при формате кадра 1600x1200 пикселей и 240 Гц при меньшем формате; угловая цена деления пикселя – от 1 до 15 угл./с; СКО проводимых измерений координат – до 3 м по дальности. СКП измерения угловых координат – 5″, измерения дальности – 1 м, максимальная угловая скорость по азимуту 100 град./с, по углу места цели – 30 град./с, время регистрации видеоинформации на дисковом накопителе 60 мин., количество одновременно отслеживаемых объектов в каждом канале – 4. Дальность действия ЛД по диффузно отражающему объекту 1 – 20 км, по угловому отражателю 1 – 40 км.

Квантово-оптическая станция (КОС) «Сажень-С» предназначена для высокоточного измерения дальности и угловых координат КА. В состав штатной комплектации КОС входят [30] телескоп АЗТ-28 – зеркально-линзовый, системы Кассегрена; КОС – навесная светоприемная аппаратура (НСА); лазерная система измерения дальности (СИД); система измерения угловых координат с определением каталожных звезд. ТХ: дальнометрия: для КА с орбитами до 40000 км погрешность измерения составляет 5 см. Измерение угловых координат: погрешность измерения 2 угл./с.

Квантово-оптическая станция «Сажень-2». Система (ЛД) предназначена для обеспечения прецизионных траекторных измерений КА, измерения дальности до отражателей лазерного излучения, установлены на борту КА, с точностью до нескольких дециметров, впоследствии доведенной до единиц сантиметров [3, 30]. Одновременно обеспечивалась возможность измерения угловых координат высокоорбитальных и геостационарных КА по отраженному солнечному излучению с погрешностью 1–2 угловые секунды и интенсивности отраженного излучения (фотометрия). Лазерный дальномер имел наклонную дальность до 3000 км.

Квантово-оптическая станция «Сажень-Т» предназначена для прецизионного определения параметров движения КА путем лазерных измерений наклонной дальности и угловых координат по отраженному солнечному излучению для эталонирования радиотехнических средств ТИ, контроля выведения геостационарных КА и высокоточного определения параметров геодинамики; проведения фотометрических измерений с целью контроля ориентации и развертывания КА на орбите и наблюдения внештатно функционирующих КА [3, 31]. КОС обеспечивает измерение наклонной дальности до КА, оборудованных уголковыми отражателями, находящимися на орбитах высотой до 42000 км, с погреш-

ностью измерения не хуже 2 см; измерение угловых координат КА: с угловыми скоростями до 40 угл./с, с погрешностью измерения не хуже 1–2 угл./с, с угловыми скоростями более 40 угл./с, с погрешностью измерения 6–10 угл./с; фотометрию КА с видимой звездной величиной не слабее 12^m, с погрешностью определения яркости не более 0,2^m. Основные ТТХ: диаметр главного зеркала телескопа, мм, 600; величина поля зрения: широкое поле, угл.град., 3; узкое поле, угл./мин, 16; максимальная угловая скорость, угл.град./с по углу места до 7,5; по азимуту до 14,5. Оптическая часть «Сажени-Т» создана на базе системы АЗС-26 (астрономическая зеркальная система, по сути, телескоп без монтировки, что обусловлено интегрированием лазера и телескопа в КОС).

Квантово-оптическая станция «Сажень-ТМ» предназначена для проведения ВТИ РКТ и АТ при их полигонных испытаниях методом измерения угловых координат [32]. Система позволяет проводить слежение за космическими объектами до 23 тысяч километров с угловыми скоростями до 40 угл./с, со среднеквадратическими отклонениями измерения угловых координат точечных целей 5 угл./с, максимальные угловые скорости сопровождения целей – 30 угл.град./с², угловых ускорений 150 угл.град./с². Информационные каналы видеотеодолита, обзорный и информационные, формируют стандартный аналоговый черно-белый телевизионный сигнал; репортажный канал формирует цветной TV-сигнал в формате PAL. Репортажный канал с переменным полем зрения предназначен для регистрации фаз полета целей и организации репортажа в процессе испытаний. Обзорный канал используется для обнаружения целей оператором в контуре автосопровождения объекта для его удержания в узком поле зрения. Измерительный канал предназначен для измерения угловых координат в инструментальной системе координат.

Квантово-оптическая станция «Сажень-ТМ-БИС» [33] предназначена для получения высокоточных данных, необходимых для определения параметров вращения Земли и геоцентра посредством определения дальности и угловых координат геодезических и навигационных КА (Lageos 1, Lageos 2, ГЛОНАСС и т.д.). Основные технические характеристики КОС: высоты лоцируемых спутников: дневное время – 400–6000 км; ночное время – 400–23000 км. Апертура оптической системы – 25 см. Длина волны – 532 нм. Частота импульсов – 300 Гц; 300 Гц. Длительность импульса – 150 пс. Энергия импульса – 2,5 мДж. Точность нормальных точек – 1 см. Точность угловых измерений – 1-2». Расходимость лазерного луча – 5».

Квантово-оптическая станция «Сажень-ТМ-В» – автоматический видеотеодолит предназначен для проведения ВТИ РКТ и АТ при их полигонных испытаниях методом измерения угловых координат целей [33]. Параметры видеотеодолита: СКО измерений угловых координат точечных целей не более 5 угл./с; угловые скорости сопровождения целей не менее 30 угл.град./с; угловые ускорения при сопровождении целей не менее 150 угл. град./с – 2.

Квантово-оптическая станция «Сажень-ТМ-Д» – лазерный дальномер предназначен для определения дальности до КА, оснащенных лазерными ретрорефлекторами, и измерения угловых координат КА по отраженному солнечному излучению для расчета высокоточных параметров движения КА, а также получения фотометрической информации в видимом диапазоне длин волн. Станция также может использоваться для синхронизации времени между удаленными пунктами с субнаносекундной точностью. Виды измерений: измерение наклонной дальности до КА, оснащенных ретрорефлекторами, с высотой орбиты до 25000 км в ночное и дневное время суток. Измерение угловых координат КА с естественным блеском не слабее 15^m. Фотометрические измерения целей, наблюдаемых в отраженном солнечном свете, с видимой звездной величиной не слабее 14,5^m. Основные ТХ: СКП «нормальных точек» при измерении наклонной дальности: на интервале осреднения 30 с до КА с высотой орбиты до 3000 км – не более 5 мм; на интервале осреднения 120 с до КА с высотой орбиты 6000 км – не более 5 мм; на интервале осреднения 300 с до КА с

высотой орбиты 20000 км – не более 5 мм. Систематическая составляющая погрешности измерения наклонной дальности до КА – не более 5 мм; СКП измерения угловых координат КА при уровне естественного блеска не слабее 15 зв. вел. – не более 1»; систематическая составляющая погрешности измерения угловых координат КА при уровне естественного блеска не слабее 15 зв. вел. – не более 1»; погрешность определения уровня отражённого от КА солнечного блеска в режиме фотометрических измерений при уровне естественного блеска не слабее 14,5 зв. вел. – не более 0, 2^m; погрешность привязки измерений к Государственной шкале единого времени – не более 200 нс; диапазон угловых скоростей слежения за КА – от 5 угл./с до 30⁰/с; максимальное угловое ускорение – до 50/с²; максимальная погрешность оптических датчиков угла – +/-1,5 угл./с [34].

УМТКОС «Сажень-ТОС» – унифицированная малогабаритная транспортируемая КОС [35] предназначена для ВТИ параметров КА, а также для проведения траекторных и сигнальных измерений при пуске ракет-носителей (РН). ТТХ: среднее квадратическое отклонение (СКО) случайной составляющей погрешности на интервале осреднения 10 с при измерении наклонной дальности до КА, оснащённых лазерными ретрорефлекторами, с высотой орбиты до 3000 км, 60с – до КА с высотой орбиты от 3000 до 36000 км, см, 0,5. Систематическая составляющая погрешности измерения наклонной дальности до КА, оснащённых лазерными ретрорефлекторами, см, 0,5..2; СКО случайной составляющей погрешности измерения угловых координат КА с естественным блеском не слабее 14 м, угл./с, 1..2; систематическая составляющая погрешности измерения угловых координат КА с естественным блеском не слабее 14м, угл./с, 1..2;

ММКОС «Сажень-ТА» – мобильная однопунктовая КОС предназначена для проведения полигонных ВТИ однопунктовым методом – измерением дальности и угловых координат целей в видимом и ИК диапазонах [36], а также для регистрации фаз полета целей. Система обеспечивает обнаружение объектов испытаний в дневных и ночных условиях, их автоматическое сопровождение, измерение угловых координат, наклонной дальности, а также оперативную обработку измерений и выдачу полученных данных в каналы связи. Значения СКО измерения угловых координат объекта (с учетом систематической составляющей): по ТВ каналу видимого диапазона не более 5 угл./с; по ТВ каналу ИК диапазона не более 10 угл./с. Измерение дальности до ОИ, оборудованных световозвращателями (Сэпр – не менее 105 м²), на дальностях до 1000 км. Измерение дальности до ОИ, не оборудованных световозвращателями (Сэпр – не менее 0,1 м²), на дальностях до 20 км. СКО измерения дальности не более 0,5 м (при отражении от плоской диффузной поверхности, расположенной перпендикулярно оси визирования). СКО привязки моментов измерения угловых направлений и дальности до ОИ к шкале времени ГЛОНАСС – не более 1x10⁻⁶ с; угловая скорость автоматического слежения за ОИ до 30 угл.град./с, угловое ускорение до 70 угл.град./с; время непрерывной регистрации информации – не менее 20 минут. Измерительные каналы: канал ЛД, телевизионный канал с узким полем зрения, цветной телевизионный канал с переменным полем зрения, инфракрасный канал. Канал ЛД предназначен для измерения наклонной дальности до объектов испытаний как оборудованных, так и не оборудованных световозвращателями. СКО измерения дальности до плоской диффузной цели с ЭПР 0,1 кв. м на максимальной дальности 20 км. Телевизионный канал с узким полем зрения предназначен для автоматического сопровождения и измерения угловых координат: угол поля зрения – 0,7 угл.град. по диагонали; среднеквадратическая погрешность измерения угловых координат (с учетом систематической составляющей) – не более 5 угл./с; частота кадров – 50 – 200 Гц. Цветной телевизионный канал с переменным полем зрения предназначен для поиска, обнаружения, захвата и автосопровождения целей, а также для регистрации фаз полета целей и репортажа. Угол поля зрения – 1,5 до 30 угл.град. по диагонали; частота кадров – 50 Гц; высокочувствительный ИК-канал предназначен для сопровождения и измерения угловых координат целей в сложной фоно-целевой обстанов-

ке: угол поля зрения – 1^0 по диагонали; СКО измерения угловых координат (с учетом систематической составляющей) – не более 10 угл./с.; частота съема информации не менее 50 Гц. Спектральный диапазон работы – 3,2...5,3 мкм.

Система квантово-оптическая 14Ц25 предназначена для измерений дальности, угловых координат и фотометрии КА с целью повышения точности определения их орбит и юстировки радиотехнических средств для решения задач в сфере обороны и безопасности [36]. КОС состоит из системы измерения дальности; системы телевизионной траекторных наблюдений; системы телевизионной фотометрической; системы временного обеспечения; лазерного передатчика; приемо-передающего телескопа. Основные ТХ: диапазон измерений дальности, м: в ночное время суток на углах места 20–80 угл.град. $3,6 \cdot 10^3$; в дневное время суток на углах места 30–80 угл.град. при угловом отклонении КА от Солнца более 30 угл.град. $6 \cdot 10^3$; в сумеречное время суток на углах места 30–80 угл.град. $2 \cdot 10^3$. Коэффициент прозрачности атмосферы не менее 0,7. СКИП измерений дальности, м: предел допускаемого среднеквадратического отклонения «нормальных» (сжатых) точек на интервале осреднения 10 с не более $2 \cdot 10^3$, предел допускаемой систематической погрешности не более $2 \cdot 10^3$. СКИП измерений угловых координат КА, наблюдаемых в отраженном солнечном свете с видимой звездной величиной не слабее 14^т, угл./с, предел допускаемого среднеквадратического отклонения не более 2; предел допускаемой систематической погрешности не более 2. СКИП измерений солнечного блеска КА с видимой звездной величиной не слабее 12^т, звездных величин – не более 0,2.

Квантово-оптический комплекс «Сажень-Обзор» предназначен для проведения в видимом и ИК-диапазонах видеосъемки операций по подготовке и проведению запусков ракет-носителей, предварительной обработки и архивации видеоинформации, выделения на ракете-носителе зон с аномальной температурой в целях обеспечения безопасности при обслуживании и запусках ракет-носителей. Включает обзорный канал с переменными углами зрения видимого диапазона и ИК-канал для обзорного контроля за предстартовыми операциями при подготовке ракет-носителей на стартовых площадках космодромов [37].

Лазерный локатор ЛЭ-1 предназначен для точных ТИ параметров КА и их сопровождения. Дальность действия локатора – 400 км. Точность определения координат: по дальности – не более 10 м; по углу места – несколько угловых секунд. Количество лазеров в тракте – 196 шт. Длина оптического тракта – 70 м [2].

Функционирование современных ОЭС ВТИ трудно представить себе без использования ЛД и дальномеров-целеуказателей (ЛДЦУ). Они обеспечивают точное измерение дальности и угловых координат объектов наблюдения, а в ряде случаев – и скорости их движения. ЛД определяет дистанцию до цели или близко расположенных объектов при малом профиле цели в условиях прямой видимости. Большинство дальномеров используют зондирующее лазерное излучение с длинами волн 1550 и 905 нм.

Артиллерийские квантовые дальномеры: ДАК-2 с устройством селекции целей предназначен для измерения дальности до неподвижных и подвижных целей, местных предметов и разрывов снарядов; корректировки стрельбы наземной артиллерии; ведения визуальной разведки местности; измерения горизонтальных и вертикальных углов целей; топогеодезической привязки элементов боевых порядков артиллерии. Модификации: ДАК-2-1; ДАК-2М; ДАК-2М-1; ДАК-2М-2 [38]. ТХ: диапазон вертикальных углов наведения: ± 3 град. Диапазон горизонтальных углов наведения: ± 30 град. Точность измерения угловых координат в обеих плоскостях: $\pm 00-01$. Количество целей, фиксируемых на индикаторе счетчика целей – 3. ДАК-2М предназначен для измерения дальности до подвижных и неподвижных целей, местных предметов и разрывов снарядов; корректировки стрельбы наземной артиллерии; ведения визуальной разведки местности; измерения горизонтальных и вертикальных углов целей; топогеодезической привязки элементов боевых порядков артиллерии с помощью других топогеодезических приборов. Дальномер обеспечивает изме-

рение дальности до целей типа танк-автомашина с вероятностью достоверного измерения 0,9 (при отсутствии в створе луча посторонних предметов). Максимальная измеряемая дальность по целям типа танк-автомашина, м, 9000; диапазон углов наведения: диапазон вертикальных углов наведения $\pm 4-50$; диапазон горизонтальных углов наведения ± 30 ; точность измерения параметров цели: количество целей, фиксируемых на индикаторе счетчика целей -3; максимальная ошибка измерения дальности, м, < 6 ; разрешающая способность по дальности, м, -3; точность измерения угловых координат в обеих плоскостях $\pm 00-01$; оптические характеристики канала приемника: диаметр входного зрачка, мм, 96; угол поля зрения, 3'.

Лазерный дальномер-бинокль «Зенит LRB 7x40 S» предназначен для измерения расстояния до объектов на местности, визуального наблюдения этих объектов и измерения скорости приближающегося или удаляющегося объекта [40]. Диапазон измеряемых расстояний – 30 – 1000 м; диапазон измеряемых скоростей – 5 – 300 км/ч; ошибка измерения не более $\pm(1+0,01D)$.

Лазерные военные дальномеры: Bresser 4x21/800m WP – диапазон измерения от 4 до 800 м, точность измерений составляет ± 1 м, в зависимости от формы и поверхности объекта и погодных условий (дождь, туман). Измерять расстояния можно в «метрах» или в «ярдах». Halo Ballistix Z9X – дальность измерений, м, 5-823, точность измерений: $\pm 0,9$ м на расстоянии до 823 м. Hawke LRF Pro 600 WP – дальность измерений, м, 5–600, точность измерений: ± 1 м на расстоянии до 600 м. Hawke LRF Pro 900 WP - дальность измерений, м, 5-900, точность измерений: ± 1 м на расстоянии до 900 м. National Geographic 4x21 – диапазон измерения от 4 до 800 м, точность измерений составляет ± 1 м, в зависимости от формы и поверхности объекта и погодных условий (дождь, туман). Измерять расстояния можно в «метрах» или в «ярдах». Pentax Laser Range Finder 6x25 (Япония) – дальномер измеряет расстояние в двух единицах измерения: в ярдах и метрах. Диапазон измерения, м, 5-800, точность измерения ± 1 м, $+0,1\%$ [39].

Лазерный дальномер импульсный ЛДИ-3 – малогабаритный (в виде бинокля) переносной лазерный дальномер-бинокль [39] для измерения расстояний до объекта (для ВМФ). В воинских частях используется малогабаритный переносной лазерный дальномер-бинокль ЛДИ-3-1М (модификация ЛДИ-3), который предназначен для измерения расстояния до различных морских, наземных и воздушных целей как при хорошей видимости, так и в сложных погодных (метеорологических) условиях (дождь, туман, снегопад); для ведения наблюдений за окружающей обстановкой. Максимальная измеряемая дальность – 20 км. Погрешность измерения дальности – не более 5 м. Частота измерения дальности – 0,25 Гц. Увеличение – $\times 7$. Угол поля зрения – $5,5^\circ$.

Лазерный дальномер импульсный ЛДИ-11 имеет дальность действия такую же, как и приборы на длине волны 1,064 мкм (20 км), с точностью ± 5 м. Диапазон измеряемых дальностей составляет 60–10 000 м при погрешности измерения дальности 10 м. Модификация этого прибора под названием EG-LRF поставляется также в ряд стран. ЛДИ-11 не может измерять дальность менее 60 м [40].

Лазерные целеуказатели-дальномеры ЛЦД-4, ЛЦД-4-1, ЛЦД-4-2, ЛЦД-4-3 предназначены для разведки наземных целей и обеспечения в дневных и ночных условиях стрельбы артиллерии и авиации, в том числе, высокоточными боеприпасами, оснащенными лазерными головками самонаведения, при подсвете лазерным излучением неподвижных и движущихся объектов вооружения, военной техники и инженерных сооружений с наземных наблюдательных пунктов [40], а также для применения в составе автоматизированных комплексов управления огнем.

Лазерный прибор разведки ЛПР-2 «Анод» предназначен для измерения дальностей и определения полярных координат (угол на цель относительно какого-либо направления и дальность до нее) наблюдаемых целей. Диапазон измеряемых дальностей – от 50 до 20 000

м. Дистанция, на которой обеспечивается плавное стробирование измеряемой дальности, – от 60 до 6000 м. Среднеквадратическая ошибка измерения дальности – 3,5 м. Увеличение – 8 крат. Поле зрения – 6 град. Время: готовности к измерению – 3 с, отображения информации об измеряемой дальности – 5–8 с [41].

Лазерный малогабаритный бинокль-дальномер разведки «Каралон-М» предназначен для измерения дальностей и определения полярных координат (угол на цель относительно какого-либо направления и дальность до нее) наблюдаемых целей. Увеличение, крат, 7. Поле зрения, град., 6,7. Ошибка измерения дальности, м, ± 10 . Ошибка измерения углов до 0-03. Диапазон измеряемых дальностей, м, 145 – 20000. Дальность действия до цели типа танк, м, не менее 5000. Время готовности к измерению, с, 5. Области применения: ведение разведки; ориентирование на местности; управление и корректировка стрельбы артиллерии [42].

Скоростной видеозаписывающий комплекс СВК-1М предназначен для регистрации быстропротекающих процессов в области баллистических испытаний боеприпасов и ВВТ. Включает [43] цифровую видеокамеру (монохромную или цветную), персональную ЭВМ (ноутбук), объектив с переменным фокусным расстоянием ($F=70-200$ мм) или комплект сменных дискретных объективов ($F=50$ мм, 100 мм), фотодатчик. ТТХ: фотоматрица – КМОП сенсор, формат полного разрешения (1280x1024) пикселей, 10-битовая монохромная или 30-битовая RGB цветная (баеровский фильтр), размер пикселя (14x14) мкм; максимальная скорость съемки при полном разрешении, кадров/с 500; максимальная скорость съемки при пониженном разрешении, кадров/с: (1280x512) пикселей 1000; (1280x256) пикселей 2000; (1280x50) пикселей 5000; (144x144) пикселей 13540; время экспозиции электронного затвора видеокамеры от 2 мкс до 30 мс; количество регистрируемых кадров в память видеокамеры при полном разрешении, кадров, не менее 1000.

Скоростные длиннофокусные кинокамеры КСД предназначены для получения кинофильма полета ракеты и мишени в районе их сближения. Этот фильм используется для определения момента взрыва боевого заряда ракеты, для характеристики поражения самолета-мишени и определения расположения ракеты относительно мишени в картинной плоскости кинокамеры. Погрешность определения момента взрыва по данным КСД составляет $\pm 0,005 \div 0,007$ с и несколько увеличивает общую погрешность измерения L_p и φ_{vp} . Среднее значение погрешности измерения координат ракеты (центра боевого заряда) лежит в пределах $7 \div 10$ м при высоте полета ракеты 8–10 км и в пределах $15 \div 20$ м при высоте полета 15 – 20 км [2] (табл. 3)

Таблица 3. Тактико-технические характеристики основных кино- и фотоаппаратов

Тип кино или ФА	Фокусное расстояние объектива, мм	Угол поля зрения, град.	Ширина кинопленки, мм	Размер кадра фильма, мм	Частота съемки, кадр/с	Запас кинопленки, м
СКС-1М	35, 50, 135, 210		16	7,5×10,4	150-4000	30
РКС «Гладиолус»	58, 150, 300,	32×43; 23×31; 12×17; 9×124 3×4	35	16×30	24-240	60, 120
РКС «Гладиолус-2»	28, 40, 75, 100, 150, 500, 1000		35	16×22	250, 750, 1500, 3000	120
РКС «Гюльпан»	35, 50, 75, 100, 150		16	8×8	50; 100; 200; 400	30
РКС «Подснежник»	28, 56, 100, 200, 300	44×83; 23×48; 13×28; 6×14; 4×9	70	23×50	24; 48; 96; 120	120, 300
ССК «Пен-тоцет»	45, 360		35	18×22; 4,5×4	40000	50
РФК-5	28, 50	35×46	35	18×24	1; 4; 10	60

Мобильный видеорегирующий комплекс «Кратность» (МВРК «Кратность») – малогабаритный, дистанционно управляемый по радиоканалу ВРК предназначен для определения параметров траектории высокodynamичных объектов на конечных участках траектории и величины промаха [43]. ТХ: количество каналов видеорегистрации для каждого измерительного поста: 2. Кадровая частота телевизионных камер: 60, 120, 480 кадров/с. Формат телевизионных матриц: 1280 x 1024 элемента. Рабочий спектральный диапазон: 0,4...0,8 мкм. Фокусное расстояние объективов: 75, 150, 300 мм. Продолжительность сеанса регистрации: 1 минута (при кадровой частоте 480 кадров в секунду). Регистрация видео- и измерительной информации: на малогабаритный съемный дисковод. СКП определения координат ЛО на траектории и величины промаха: 0,3 метра. СКП привязки к СЕВ: 1 мкс (по сигналам СНС). Управление и контроль: по радиоканалу с расстояния до 20 км.

Наземные регистрирующие фотокамеры (РФК) – разнородная группа фотоаппаратов, объединенных целью использования [2]. В основном данный тип фотокамер был предназначен для фотографирования экранов электронно-лучевых индикаторов (ЭЛИ), шкал измерительных приборов, пультов управления и удаленных объектов. РФК-1, РФК-1М предназначены для фотографирования экранов ЭЛИ, шкал измерительных приборов, пультов управления и удаленных объектов в различных условиях. Камера рассчитана на использование 16-мм фотопленки и давала кадр форматом 7,7 x 10,5 мм. В кассете помещалось 12 м пленки (1500 кадров). С помощью встроенного электропривода камера могла снимать со скоростью до 6 кадров в секунду. Затвор давал выдержки 1/35, 1/70, 1/100, 1/250 с. Камера управлялась дистанционно от пульта и при помощи кнопки на самой камере. Снабжалась объективом 28 мм, 1:2. Фокусировка от 17 до 200 см, рабочий отрезок 17,5 мм, разрешение в центре – 45 л/мм. РФК-5 предназначена для фотографирования экранов ЭЛИ, шкал измерительных приборов, пультов управления и удаленных объектов в наземных стационарных, полевых и лабораторных условиях [2]. В отличие от модели РФК-1 использовалась 35-мм пленка, формат кадра – 18x24 мм. Аппарат был снабжен оптикой, имеющей следующие фокусные расстояния, мм: 28, 58, 1000 (дистанция съемки, см: с объективом F=28 мм – от 30 до бесконечности; с объективом F=58 мм – от 50 до бесконечности; с объективом F=1000 мм – от 2000 до бесконечности).

Серия фоторегирующих станций (ФРС) типа ФРС-МК, «Дятел», «Дятел-2», «Дятел-Т», «Редан» является приборами патрульного типа. Широкий угол поля зрения ФРС обеспечивается объективом с фокусным расстоянием 350 мм. Регистрация изображений объектов осуществляется на фотопленку шириной 180 мм при частотах съемки 1; 2; 4; 8 Гц. Данные ФРС использовались при работе с объектами, обладающими значительной априорной неопределенностью параметров движения.

Фоторегирующая станция «Дятел» предназначена для измерения угловых координат движущихся в пространстве ЛА и других объектов АТ и РКТ на различных участках их траектории [2]. Широкоугольная неследящая ФРС является незаменимым СТИ при работе как с групповыми объектами, так и одиночным, движущимся по труднопрогнозируемой траектории. Средняя квадратическая инструментальная ошибка в пределах угла места от 0° до 70° не более, угл./с, 25; среднеквадратическая ошибка привязки моментов фотографирования к системе единого времени, с, 0,005; формат снимка, мм, 180x180; способ наведения с фиксацией через 10 угл.град. – ручной.

Регистрирующая станция ФРС-4 «Редан» [3, 4] предназначена для фоторегистрации перемещающихся в пространстве объектов с целью определения их координат в функции времени. В состав станции входят 4 фототеодолита и аппаратура управления. Средняя квадратическая инструментальная ошибка в пределах угла места от 0° до 70° не более, угл./с, 15. Частота съемки, кадр/с, 1; 2 и 4. Среднеквадратическая инструментальная погрешность теодолита в статике по фотоканалу не более угл./с, 5; рабочие скорости слежения, угл.град./с, 0,03 ÷ 30; ускорение слежения, угл.град./с², 30; частота съемки, кадр/с, измери-

тельной кинокамеры – 1; 5; 10; 25; скоростной регистрирующей кинокамеры – 144; 192; 240.

ФАРМ-1, ФАРМ-2, ФАРМ-2А – специальная кинокамера с форматом кадра 18x24мм на 35-мм киноплёнке, снабженная кинообъективом «Гелиос-33» 2/35 с углом поля зрения в 46°, который использовался как дополнительное бортовое фотооборудование в качестве приставки для фотографирования экрана РЛС радиолокационного прицела [2]. ФАРМ-3 – наземная фотокамера, предназначена для фотографирования и одновременного наблюдения изображения на экранах индикаторов РЛС. Основные характеристики: размер кадра, мм, 24,4; диапазон фокусного расстояния, мм, 56...211.

Телевизионная регистрирующая станция предназначена для регистрации на магнитный носитель изображений ЛО на естественных фонах в дневных и ночных условиях с последующей обработкой зарегистрированной информации [44]. ТХ: среднеквадратическая инструментальная погрешность определения угловых координат точечного объекта в статике при угле места не более 60° – не более 25"; разрешающая способность двух равноярких звезд не более 35"; пороговая облученность объективов ТВ каналов, эквивалентная шуму, в рабочем спектральном диапазоне при времени накопления 1 мс, Вт/см² не более 2x10⁻¹⁰; поле зрения теодолита - 20° x 20°; относительное отверстие объективов – 1: 1,3; частота кадров, Гц, 0,5; 1; 2; 5; 10; 12,5.

Видеорегистратор «Квант» (ВР «Квант») предназначен для скоростной цифровой видеорегистрации быстропротекающих процессов функционирования элементов артиллерийского, гранатометного и стрелкового вооружения, на участках траектории полета пуль, гранатометных выстрелов, танковых и противотанковых управляемых ракет, артиллерийских снарядов и измерения их временных и пространственных параметров, а также явлений, возникающих при их взаимодействии с преградой [45]. ТХ: углы поля зрения телевизионных камер (ТК), градусов, не менее 10x7; длительность экспозиции ТК, мкс, от 0,033 до 50000; временная задержка экспозиции ТК относительно импульса запуска, мкс, от 3,8 до 139000; формат кадра ТК, пкс, 1280x1024; погрешность синхронизации ТК, мкс, не более 5; количество информационных кадров 4; количество экспозиций на один информационный кадр до 15; угловая цена деления ТК, секунд, 26±5. ВР «Квант» сохраняет работоспособность при естественной освещенности фона в диапазоне экспозиций ТК от 0,033 до 1 мкс, не более 3000 лк.

Станция оптических наблюдений «Архыз» (СОН «Архыз»; также станция оптического слежения «Космотэн») – СОН искусственных спутников Земли, осуществляет натурную обработку оптико-лазерных средств наблюдений за искусственными КО и получение ВТИ. Инструменты станции [46]: широкопольная камера WFOC (Fast Variability Optical Registrator) – широкоугольная телевизионная ПЗС-камера FAVOR (D = 150 мм, F = 180 мм, поле зрения 16×22°, 90 "/пикс., время экспозиции одного кадра – 0,12 с, предельная звездная величина около 10,5 в полосе V при отношении сигнала к шуму 5, работает с октября 2003 года), телескоп Zeiss-600 M, КОС «Сажень-ТМ» – 25-сантиметровый лазерный локализатор, телескоп АТТ-600 (в стадии создания).

Наземные оптико-электронные и квантово-оптические средства европейской СККП включают КОС лазерной дальнометрии (СЛД) и оптико-электронные инструменты измерения угловых координат КО: СЛД обсерватории Грац-Люстбюхель (Австрия), обсерваторию лазерной дальнометрии Матера «Млро» (Италия), наземную оптическую станцию «Огс» (Испания), быстродействующие роботизированные телескопы «Тарот» и «Тарот-S(outh)» (Франция, Чили), роботизированный телескоп «Цимлат» обсерватории Циммервальд астрономического института Бернского университета (Швейцария). СЛД обсерватории Грац-Люстбюхель (Satellite Laser Ranging (SLR) Station Graz-Lustbuhel) предназначена для обнаружения и высокоточного измерения дальности до низкоорбитальных космических объектов искусственного происхождения (прежде всего, космического мусора). Лазе-

рный дальномер станции построен на базе 0,5 м приемного телескопа Кассегрена, снаружи которого смонтированы излучающая оптическая система с диаметром апертуры 0,1 м и комплект детектирующего оборудования [15].

Наземный электронно-оптический комплекс СККП США GEODSS (Ground-Based Electro-Optical Deep Space Surveillance) предназначен для обнаружения, сопровождения и определения характеристик космических объектов на средних и высоких (в т.ч. геостационарных) орбитах в диапазоне высот от 5000 км до 45000 км. Проницающая способность – до 15,5 м. Сектор обзора по углу места – от 20° над горизонтом и выше, по азимуту – круговой обзор. По своим целям и задачам GEODSS аналогична оптико-электронной станции «Окно», однако благодаря большому количеству положительных пунктов американская система значительно превосходит российский аналог по долготному охвату. Комплекс обнаруживает и сопровождает низкоорбитальные КО размером более 10 см, контролирует высоты от 4500 км до геосинхронных орбит и выше [47–49].

ОЭК обнаружения и измерения параметров движения КМ в Бразилии предназначен для автоматического обнаружения КА и объектов КМ, определения их угловых координат и их идентификации с объектами, внесёнными в базу данных, и выдачи полученной информации в центр сбора и обработки данных [13]. Данная информация будет использоваться для контроля характеристик траекторий и орбит КА. Комплекс производит автономный поиск и обнаружение КО на высоте от 120 до 40 000 км. Он оснащён тремя типами телескопов, которые по солнечному блеску способны обнаружить КО и элементы КМ, имеющие блеск до 18-й звёздной величины.

ОЭК обнаружения элементов космического мусора. Основные ТХ телескопов [50]: «Сова-75-О»: диаметр входного зрачка – 750 мм; угловое поле зрения – 7 град.; линейное поле зрения – 170,0 мм; «Сова-75-О» с мозаичным фотоприёмным устройством ФПУ-М. Основные ТТХ объектива «Сова-75-О»: диаметр входного зрачка – 750 мм; угловое поле зрения – 7 град.; рабочее поле зрения фотоприёмника – 5,4x4,8 град. «Сова-25»: диаметр входного зрачка – 250 мм; угловое поле зрения – 10 град.; линейное поле зрения – 72,3 мм. «Сова-5»: диаметр входного зрачка – 50 мм; угловое поле зрения – 40 град.; линейное поле зрения – 72,3 мм. Основные ТХ ОЭК ОКМ в режиме обнаружения КО: модуль обнаружения низкоорбитальных космических объектов на базе объективов «Сова-25» с рабочим полем зрения 98 кв. град. Производительность обзора (кв.град./ч) - > 12 000; точность измерения УК (угл./с) – 1...3; проницающая способность (m) - 15,2. Модуль обнаружения высокоорбитальных космических объектов на базе объектива «Сова-75-О» с рабочим полем зрения 26 кв. град: производительность обзора (кв.град./час) - > 5 000; точность измерения УК (угл./с) – 0,3...0,5; проницающая способность (m) – 18,0...18,5.

Лазерный оптический локатор российской СККП представляет собой комплекс из нескольких оптико-электронных и лазерных средств [51], функционирующих совместно под управлением командно-вычислительного центра. Широкопольный телескоп с диаметром оптики 0,4 м решает задачу поиска и обнаружения высокоорбитальных КО путем сканирования по углам заданной зоны поиска и измерения угловых координат, а также фотометрических характеристик блеска КО. Узкопольный телескоп с диаметром главного зеркала 1,3 м с адаптивной оптической системой предназначен для получения детальных изображений низкоорбитальных КО. За счет высокой проницающей способности может также получать высокоточные координатные и фотометрические измерения по малоразмерным высокоорбитальным и низкоорбитальным КО. Приемно-передающий лазерный комплекс на базе телескопа с диаметром главного зеркала 1,3 м обеспечивает получение измерений дальности до КО как по диффузной отражающей поверхности, так и по лазерным отражателям.

Отдельный класс оптоэлектронных станций составляют перебазируемые средства [51], к классу которых принадлежит опытный МОЭК SHOTS (Stabilized High-Accuracy

Optical Tracking System), который предполагается задействовать как при проведении испытаний ВВТ в рамках программы противоракетной обороны (ПРО) США, так и для ККП. Комплекс состоит из двух модулей. Один модуль включает в себя два телескопа: главный STS (SHOTS Telescope System) и поисковый SAT (SHOTS Acquisition Telescope), системы наведения SPS (SHOTS Pointing System). Другой модуль содержит системы сопровождения и наведения TPS (Tracking and Pointing System), управления, отображения и записи, радио- и телефонной связи, а также метеорологическое оборудование. Главный телескоп STS мерсен-касегреновской афокальной схемы (диаметр апертуры 0,75 м, угол поля зрения 0,20°). Поисковый телескоп SAT (трехзеркальный афокальный анастигмат, диаметр апертуры 0,3 м, угол поля зрения 0,6°) канадской фирмы Applied Physics Specialties. Телескопы STS и SAT имеют идентичные комплекты приемных устройств, которые включают в себя видеокамеры видимой (380–780 нм) и средней ИК-областей (2,5–5 мкм) оптической части спектра, а также устройства записи видеoinформации на априорном, апостериорном временных интервалах и непосредственно перехвата баллистической цели при выполнении задач ПРО.

Наземная оптическая станция «OGS» (Optical Ground Station) входит в состав обсерватории Тейде на о. Тенерифе (Канарские о-ва, Испания). Основным инструментом станции «OGS» является метровый дистанционно управляемый телескоп Кассегрена фирмы «Карл Цейс». Станция «OGS» решает задачи тестирования бортовых терминалов лазерной связи КА и обнаружения КМ искусственного происхождения, астероидов и близких к Земле космических тел, а также стандартных астрономических наблюдений [49].

9. Заключение

Данный обзор является актуализацией материалов, представленных на веб-сайтах производителей, и публикаций по данной тематике за 2000–2017 годы. Отмечено состояние оборудования НИИП, космодромов, ЛИИБ полигонов и астрономических обсерваторий, оснащенных оптическими и самыми современными оптико-электронными комплексами траекторных измерений наземного базирования для проверки и отработки комплексов РКТ и АТ.

В связи с тем, что используемые в настоящее время стационарные СВТИ разработаны несколько десятилетий назад, морально и физически устарели, а поэтому не соответствуют современным требованиям по точности измерения и объему информации об ОИ, возникла проблема создания нового поколения СВТИ. Существующая мировая тенденция заключается в создании мобильных или перебазированных высокоточных СВТИ, которые доставляются на полигоны только на период проведения замеров и различных видов испытаний, что обеспечивает высокую маневренность и коэффициент использования, снижает удельные расходы на содержание и эксплуатацию. Необходимо создание нового поколения СВТИ с характеристиками, позволяющими повысить (до 1000 км) дальность обнаружения малоразмерных объектов (с эффективной поверхностью рассеяния 0,01 м²), точность определения их пространственных координат (до 5 м) и векторы скорости (до 0,05 м/с).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Додонов А.Г. Построение информационно-аналитической системы научно-исследовательского испытательного полигона / А.Г. Додонов, В.Г. Путятин, В.А. Валетчик // Управляющие системы и машины. – 2006. – № 4. – С. 3 – 14.
2. Кучеров А.С. Измерительно-вычислительный комплекс для натуральных экспериментов: учебн. пособ. / Кучеров А.С., Путятин В.Г., Сердюк В.Г. – Киев: КВИРТУ ПВО, 1992. – 302 с.
3. Оружие и технологии России: энциклопедия. XXI век / Под ред. С.Б. Иванова. – М.: Издат. дом «Оружие и технологии», 2005. – Т. XI: Оптико-электронные системы и лазерная техника. – 719 с.

4. Чупахин А.П. Разработка и исследование оптического измерительного комплекса для сопровождения объектов, движущихся по сложным траекториям: дис. ... кандидата техн. наук / Чупахин А.П. – Нижний Тагил, 2017. – 152 с.
5. Высокоточный кинотеодолит «ВИСМУТИН-М» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://peleng.by/products/optoelectronics/47.html>.
6. Высокоточная оптико-электронная теодолитная система «ВИОЛА» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://промкаталог.рф/ProtectedDocuments/1560366.pdf>.
7. Абламейко С.В. Космонавтика Беларуси / Абламейко С.В. – Минск: БГУ, 2014. – 255 с.
8. Мобильный теодолит «Велюр-ИТ» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://промкаталог.рф/ProtectedDocuments/1560369.pdf>.
9. Фотоэлектронные измерители скорости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.ntiim.ru/doc/scb/feb.doc.
10. Список астрономических инструментов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>.
11. Автоматическая фотографическая установка афу-75 (телескоп) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sakhalinmuseum.ru/exhb_id_22254.php.
12. Лазерный спутниковый дальномер [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://avidim.narod.ru/dictionary/lazernyj-sputnikovyj-dalnomer.html>.
13. Пак Я. Наземные оптико-электронные и квантово-оптические средства Европейской системы контроля космического пространства / Я. Пак, Е. Хабаров // Зарубежное военное обозрение. – 2016. – Ч. 1, № 8. – С. 63 – 70.
14. Пак Я. Наземные оптико-электронные и квантово-оптические средства Европейской системы контроля космического пространства / Я. Пак, Е. Хабаров // Зарубежное военное обозрение. – 2016. – Ч. 2, № 9. – С. 69 – 74.
15. Десять самых больших телескопов в мире [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.computerra.ru/77900/10-biggest-telescopes/>.
16. Спутниковая фотографическая камера [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://avidim.narod.ru/dictionary/sputnikovaja-fotograficheskaja-kamera.html>.
17. Теодолит ОТ-58 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://theodoliteclub.com/?p=8310>.
18. Станция оптического наблюдения (СОН) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lemt.by/stantsiya-opticheskogo-nablyudeniya-son/>.
19. Общие сведения о высокоточных теодолитах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://geodetics.ru/svedeniyateodolitah.html>.
20. Малогабаритный телевизионный теодолит «КОНТУР-Т» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://peleng.by/products/optoelectronics/48.html>.
21. Мобильный автоматизированный измерительный комплекс «Траектория» (МАИК «Траектория») [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ntiim.ru/info.php?x=traektor>.
22. Лазерно-телевизионные системы измерений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.okbmei.ru/innovation_6.html.
23. Оружие и технологии России: энциклопедия. XXI век / Под ред. С.Б. Иванова. – М.: Издат. дом «Оружие и технологии», 2002. – Т. 5: Космические средства вооружения. – 704 с.
24. Лазерно-телевизионная измерительная аппаратура [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://промкаталог.рф/PublicDocuments/0701522.pdf>.
25. Лазерно-телевизионная измерительная станция ЛТИС «Вектор» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://промкаталог.рф/Products?firmId=5020>.
26. Оптико-электронная станция кругового обзора (ОЭСКО) «Феникс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rusarmy.com/pvo/pvo_vsk/rls_fenix.html.
27. Оптико-электронный комплекс обнаружения космических объектов «Окно» и «Окно-М» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bastion-karpenko.ru/okno-oek/>.
28. Создание и развитие системы полигонных измерений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kvirtu40let.narod.ru/kvirtu/grup5/poligon2.html>.
29. Мобильная оптико-электронная станция «Вереск» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://roe.ru/catalog/vozdušno-kosmicheskie-sily/aerokosmicheskie-tehnologii/veresk/>.
30. «Сажень-С»-квантово-оптическая станция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.russianarms.ru/forum/index.php?topic=5567.0>.

31. Квантово-оптическая система «Сажень-Т» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kik-sssr.ru/Sazhen-T.htm>.
32. 14Ц212 «Сажень-ТМ» – квантово-оптическая станция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.russianarms.ru/forum/index.php?topic=5570.0>.
33. Лазерный дальномер «Сажень-ТМ-БИС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://wikimapia.org/30999538/ru/Лазерный-дальномер-Сажень-ТМ-БИС>.
34. Лазерный дальномер «Сажень-ТМ-Д» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://npk-spp.ru/deyatelnost/lazernaya-set/115-2009-04-13-11-00-28.html>.
35. Унифицированная малогабаритная транспортируемая квантово-оптическая система 14Ц214 УМТКОС «САЖЕНЬ-ТОС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.106eomz.ru/products/05/pr_05_0002.html.
36. Мобильная однопунктовая траекторно-измерительная оптико-электронная система ММКОС «САЖЕНЬ-ТА» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.106eomz.ru/products/05/pr_05_0001.html.
37. Квантово-оптическая система 14Ц25 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://td-str.ru/file.aspx?id=24586>.
38. Комплекс «Сажень-Обзор» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://npk-spp.ru/deyatelnost/dlya-poligonov/688-kompleks-sagen-obzor.html>.
39. Дальномер артиллерийский квантовый ДАК-2 (1Д11) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.russianarms.ru/forum/index.php?topic=1250.0>.
40. Лазерные дальномеры и целеуказатели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.polyus.info/company/books/nii-polyus-50-let/chapter12/>.
41. ЛППР-2 «Анод» (1Д18) – лазерный прибор разведки (лазерный бинокль-дальномер) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.russianarms.ru/forum/index.php?topic=1253.0>.
42. ЛППР-1 «Каралон-М» (1Д13) – лазерный прибор разведки (лазерный бинокль-дальномер) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.russianarms.ru/forum/index.php?topic=1247.0>.
43. Скоростной видеозаписывающий комплекс СВК-1М [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ntiim.ru/info.php?x=svk_1m.
44. Мобильный видеорегистрирующий комплекс «Кратность» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.linkos-tcp.ru/OurProduct/МВПК-Кратность.aspx>.
45. Телевизионная регистрирующая станция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://peleng.by/products/optoelectronics/50.html>.
46. Видеорегистратор «Квант» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ntiim.ru/info.php?x=kvant>.
47. Станция оптических наблюдений «Архыз» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1529878>.
48. СККП США [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://protivnpp.ru/03/09/skcp-ssha/>.
49. Система контроля космического пространства США [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://unnatural.ru/usa-sss>.
50. Оптико-электронный комплекс обнаружения элементов космического мусора ОЭК ОКМ (Роскосмос) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: astronomer.ru/data/0190/INASAN-3_PNK_SPP_Grishin.ppt.
51. Лазерный оптический локатор российской системы контроля космического пространства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ipa.nw.ru/conference/wpltn2012/docs/27/0940%20lol%20skcp.pdf>.
52. Основные направления развития наземных оптоэлектронных средств контроля космического пространства США [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://militaryarticle.ru/zarubezhnoe-voennoe-obozenie/2006-zvo/7394-osnovnye-napravlenija-razvitija-nazemnyh>.

Стаття надійшла до редакції 13.11.2017