

УДК 621.396

**В. П. Алешин, Е. А. Гришин, О. А. Ивлев,  
Д. Д. Новгородцев, В. Д. Шаргородский**

Акционерное общество «Научно-производственная корпорация  
«Системы прецизионного приборостроения»  
ул. Авиамоторная 53, Москва, Россия, 111024  
aleshin\_vl@mail.ru

**Большеапертурные телескопы  
в задачах околоземной астрономии**

*Рассматриваются телескопы с апертурой больше 3 м и скоростью перемещения оптической оси более 4 град/с, применяемые в задачах ситуационной оценки околоземного космического пространства. На сегодняшний момент действуют три телескопа с такими параметрами — SOR, AMOS, SST (все США). Находится на этапе сдачи телескоп подобного класса с апертурой 3.12 м (телескоп информационный ТИ-3.12) Алтайского оптико-лазерного центра. Описываются основные технические характеристики телескопа ТИ-3.12, возникающие проблемы и пути их разрешения.*

*ВЕЛИКОАПЕРТУРНІ ТЕЛЕСКОПИ В ЗАДАЧАХ НАВКОЛОЗЕМНОЇ АСТРОНОМІЇ, Альошин В. П., Гришин Є. А., Івлев О. А., Новгородцев Д. Д., Шаргородський В. Д. — Розглядаються телескопи з апертурою понад 3 м і швидкістю переміщення оптичної осі понад 4 град/с, що використовуються в задачах ситуаційної оцінки навколоземного космічного простору. На сьогодні діють три телескопи з такими параметрами — SOR, AMOS, SST (всі США). Перебуває на етапі здачі телескоп подібного класу з апертурою 3.12 м (телескоп інформаційний ТИ-3.12) Алтайського оптико-лазерного центру. Описуються основні технічні характеристики телескопа ТИ-3.12, супутні проблеми та шляхи їхнього вирішення.*

*LARGE APERTURE TELESCOPES IN THE PROBLEMS OF NEAR-EARTH ASTRONOMY, by Aleshin V. P., Grishin E. A., Ivlev O. A., Novgorodtsev D. D., Shargorodsky V. D. — The work considers telescopes with an aperture greater than 3 m and with high-speed movement of the*

*optical axis (more than 4 angular degrees per second). These telescopes are applied in problems of Space Situation Awareness. Up to date, there are only three telescopes with such parameters — SOR, AMOS, SST (all in the USA). A telescope of the same class is under completion at Altai optical laser center, it has aperture 3.12 m. The paper describes the main specifications of this telescope. Arising problems are identified and ways of solution are suggested.*

**Введение.** Известны две проблемы наблюдения и информационного обеспечения в ближнем космосе — «Контроль космоса» и «Космическая ситуационная осведомленность» [2, 9]. «Контроль космоса» может быть определен как стандартное (рутинное) оперативное обслуживание обнаружения, сравнения, оценки характеристик и вычисления орбит космических объектов. «Космическая ситуационная осведомленность» (ситуационная оценка космической обстановки) определяется как полное знание о совокупности космических объектов, о существующих опасностях/рисках и о космической среде (обстановке).

Активное использование термина «космическая ситуационная осведомленность» (дословный перевод Space Situational Awareness, SSA) началось в 2000 г. Проблема SSA интенсивно исследуется в NASA и в Европейском космическом агентстве [9]. Одной из основных задач SSA является получение изображений (imaging) космических объектов, включая геостационарные космические объекты (ГСКО) и астероиды [2, 3, 10, 11, 12].

**Большеапертурные длиннофокусные оптические телескопы США.** Рассматриваемые длиннофокусные телескопы расположены в двух пунктах. Пункт SOR (Starfire Optical Range) расположен на базе в Киртланде, Альбукерк, Нью-Мехико, имеет телескоп с апертурой 3.5 м, оснащенный адаптивной оптической системой с 941 субапертурой, датчиком Шака — Гартмана и натриевой «лазерной звездой». На пункте проводятся активные эксперименты по разработке новых оптических наблюдательных технологий.

Военно-воздушная оптическая и суперкомпьютерная обсерватория AMOS (Air Force Maui Optical and Supercomputing observatory), о. Мауи, Гавайи [8], располагает телескопом 3.67 м с адаптивной системой, аналогичной SOR (без лазерной звезды). Альт-азимутальная монтировка имеет скорость до 18 град/с по азимуту и до 4.75 град/с по зенитному углу. Фокусное расстояние в режиме получения детальных изображений 726 м ( $f/200$ ). AMOS выполняет две миссии. Во-первых, проводит научные исследования и разработки для Системы контроля космического пространства на о. Мауи (Maui Space Surveillance System, MSSS). Во-вторых, он сопровождает Компьютерный высокопроизводительный центр Мауи (Maui High Performance Computing Center, МНРСС), который включает в себя вычислительный кластер. В 2012 г. мощность суперкомпьютера была доведена до 9.216 процессоров с общей пиковой производительностью в 103 ТераФлопсов.

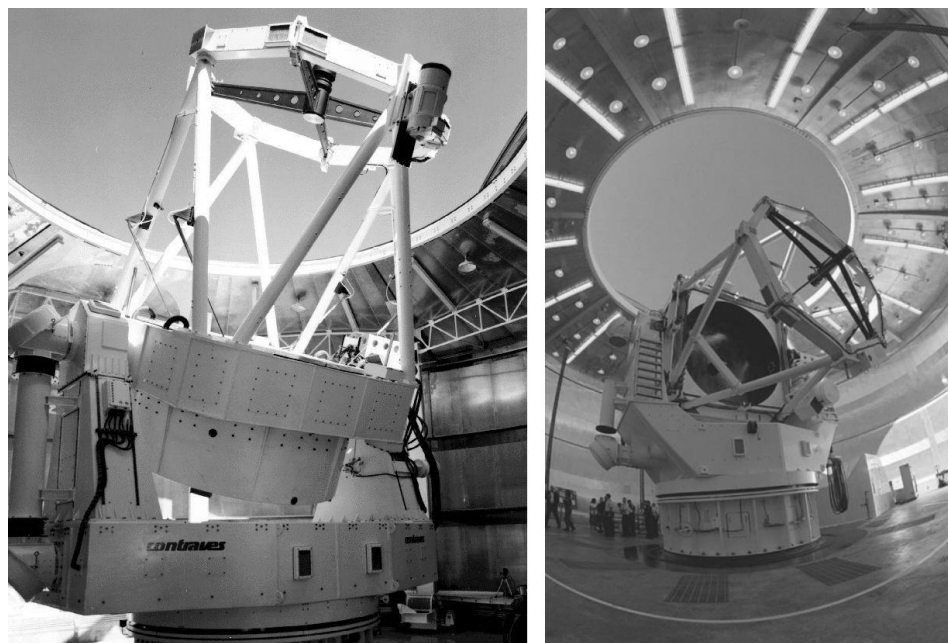


Рис. 1. Телескопы SOR (слева) и AMOS (справа)

Внешний вид телескопов SOR и AMOS приведен на рис. 1.

**Широкопольный телескоп контроля космического пространства (SST).** Основным недостатком длиннофокусных большеапертурных телескопов являются малые поля зрения и соответственно большие времена обзора. В 2011 г. в США введен широкопольный светосильный телескоп контроля космического пространства (Space Surveillance Telescope, SST). Его фокусное расстояние составляет 3.79 м, апертура 3.5 м (эффективная апертура 2.9 м) [11, 14]. Телескоп разработан в рамках программы DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency — Агентство передовых оборонных исследовательских проектов) Линкольновской лабораторией Массачусетского технологического института и расположен в штате Нью-Мехико. В ближайшее время планируется перенести телескоп в Австралию. Поле телескопа  $3 \times 2$ , что позволяет проводить за ночь несколько полных обзоров небесной сферы. Внешний вид телескопа и его оптическая схема приведены на рис. 2.

Телескоп обладает большими обзорными и обнаружительными возможностями. Позволяет обнаруживать и сопровождать спутники размером менее 10 см на геостационарной орбите. Телескоп обнаруживает астероиды с магнитудой  $H = 21.5^m$  [11].

**Телескоп Алтайского оптико-лазерного центра.** Внешний вид строящегося Алтайского оптико-лазерного центра приведен на рис. 3. Оптические параметры телескопа (правая башня на рис. 3) следующие: система Кассегрена, световой диаметр 3.12 м, относительное отверстие 1:25, фокусное расстояние 78 м, скорость перемещения оп-

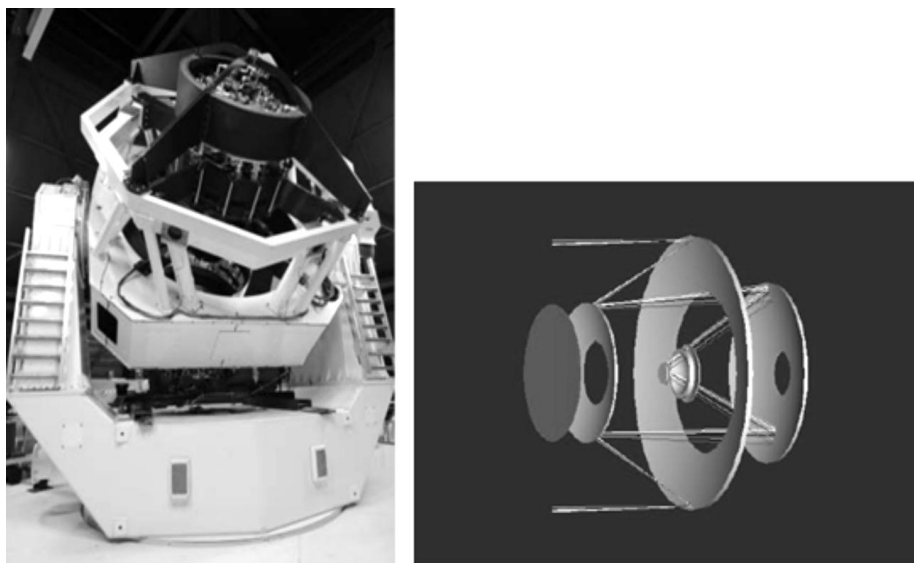


Рис. 2. Телескоп контроля космического пространства SST (справа — его оптическая схема)



Рис. 3. Алтайский оптико-лазерный центр

тической оси — более 5 град/с. Труба телескопа и процесс полировки главного зеркала изображены на рис. 4.

Телескоп имеет один фокус Кассегрена, четыре фокуса Нэсмита, один фокус кудэ. В фокусе Кассегрена размещены спекл-интерферометры видимого и ближнего ИК-диапазона. В трех фокусах Нэсмита последовательно размещены: 1) адаптивная оптическая система

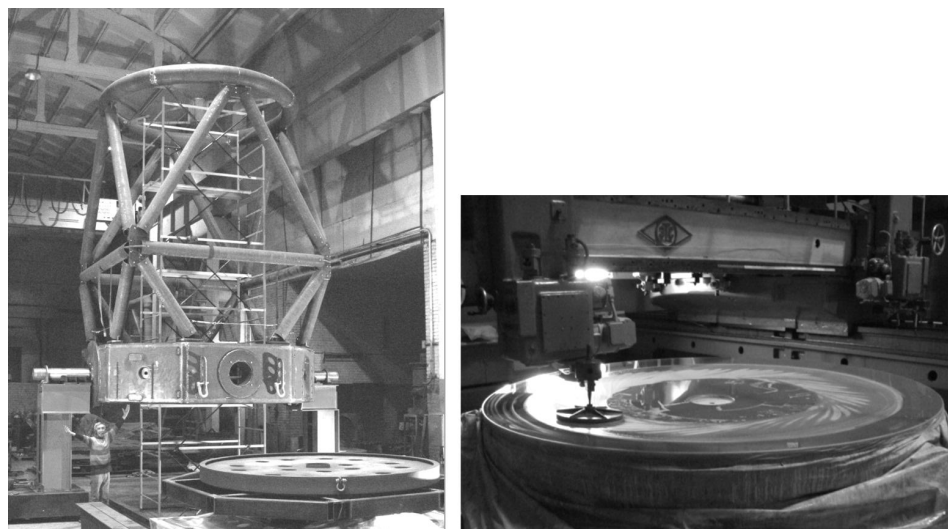


Рис. 4. Труба телескопа и процесс полировки главного зеркала

(АОС) видимого и ближнего ИК-диапазонов, 2) фотометрическая система видимого диапазона, 3) астрометрическая система геостационарных объектов и астероидов. Четвертый фокус Нэсмита — резервный. Фокус кудэ планируется использовать в перспективе для экспериментов по отработке новых методов наблюдений.

В таблице приведен прогнозируемый интегральный блеск объектов в видимом диапазоне, в круглых скобках под значениями блеска указаны соответствующие угловые размеры объекта [5].

В последней графе таблицы указан прогнозируемый линейный дифракционный предел разрешения элемента детальных изображений для объектов на рассматриваемой дальности  $L$ .

#### Наблюдательные параметры телескопа ТИ-3.12

$L$ , км	Размеры ИСЗ		Размеры элементов космического мусора			Линейный дифракционный предел разрешения, см
	$D = 10$ м	$D = 2$ м	$D = 0.2$ м	$D = 0.05$ м	$D = 0.01$ м	
200	$0.5^m$ (10.3 )	$4.0^m$ (2.06 )	$9.0^m$ (0.2 )	$12.0^m$ (0.05 )	$15.5^m$ (0.01 )	4.3 (0.044 )
400	$1.8^m$ (5.15 )	$5.3^m$ (1.03 )	$10.3^m$ (0.1")	$13.3^m$ (0.03 )	$16.8^m$	8.6
1000	$4.0^m$ (2.06 )	$7.5^m$ (0.41 )	$12.5^m$ (0.04 )	$15.5^m$	$19.0^m$	21.5
2000	$5.5^m$ (0.56 )	$9.0^m$ (0.2 )	$14.0^m$ (0.02 )	$17.0^m$	$20.5^m$	43
4000	$6.8^m$ (0.28 )	$10.3^m$ (0.1 )	$15.3^m$	$18.3^m$	$21.8^m$	86
36000	$11.8^m$	$15.3^m$	$20.3^m$	$23.3^m$	$26.8^m$	770

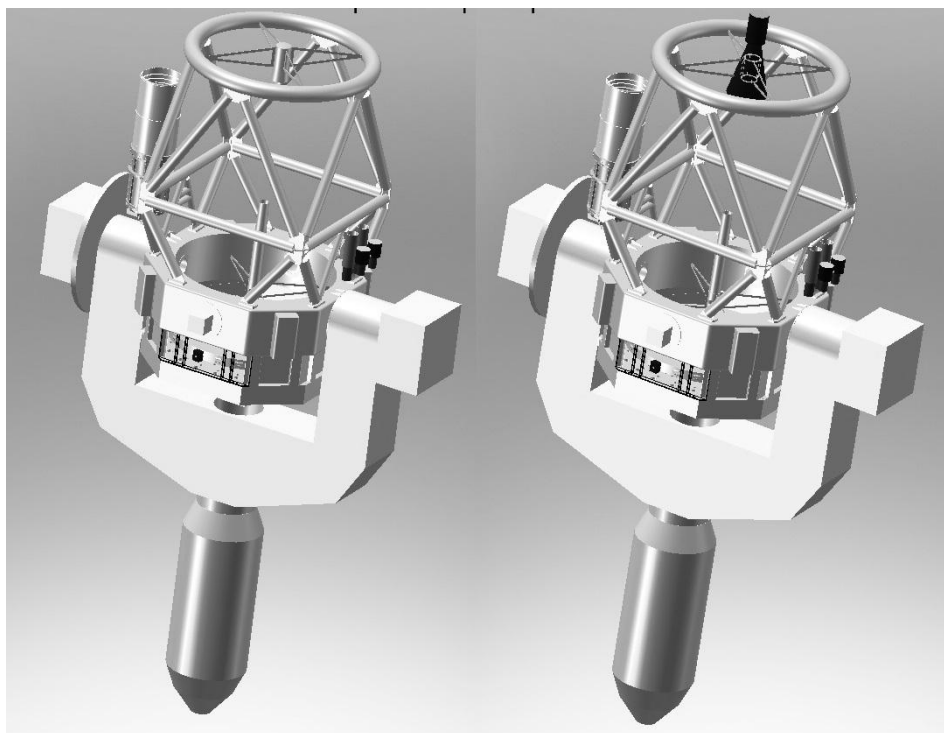


Рис. 5. Модернизация ТИ-3.12 (слева — до модернизации, справа — после)

Телескоп позволит решать следующие задачи [1, 4, 6]:

- 1) траекторный и фотометрический контроль космического мусора на орбитах с диапазоном высот от 150 до 36000 км;
- 2) получение детальных изображений низкоорбитальных искусственных спутников Земли и астероидов с угловым размером более 0.2 по отраженному солнечному излучению с угловым разрешением, близким к дифракционному пределу.

**Модернизация.** Возможна модернизация ТИ-3.12 до широкопольного телескопа путем замены узла вторичного фокуса на узел первичного фокуса [5, 13] с широкоформатным матричным фотоприемником (рис. 5).

Если будет принято решение о модернизации, то телескоп будет обладать полем зрения  $1^\circ$ , проникающей способностью  $23^m$  для геостационарной орбиты (размер мусора 5 см), точностью определения угловых координат  $0.1^\circ$ .

**Выводы.** 1. Инструмент может обеспечивать решение всех задач ситуационной оценки космической обстановки вплоть до получения изображений ГСКО и астероидов (с помощью спекл-интерферометра).

2. Высокая проникающая способность до  $23^m$  (размеры космического мусора до 5 см).

3. Высокая точность угловых измерений — до  $0.1^\circ$ .

4. Низкий энергетический предел получения оптических изображений — до  $10^m$  (спекл-интерферометр) (угловой размер 0.1 соответствует линейным размерам объекта 50 см на дальности 1000 км).

5. Наличие фокуса кудэ позволяет проводить развитие и совершенствование методов и алгоритмов обработки без остановки штатной работы телескопа.

1. Аleshин В. П. Наземные системы получения оптических изображений космических аппаратов и обратные задачи // Электромагнитные волны и электронные системы.—2014.—**19**, № 8.—С. 60—67.
2. Аleshин В. П., Балега Ю. Ю., Гришин Е. А. и др. Большеапертурные телескопы в задачах получения изображений геостационарных космических аппаратов для целей ситуационной оценки космической обстановки // Электромагнитные волны и электронные системы.—2011.—**16**, № 3.—С. 9—17.
3. Аleshин В. П., Балега Ю. Ю., Максимов А. Ф. и др. Спекл-интерферометрия геостационарных ИСЗ: реальность и перспективы // Вестник СИБГАУ. Вып. 6(39). С. 154—158. (Междунар. конф. «Околоземная астрономия 2011»).
4. Аleshин В. П., Новгородцев Д. Д., Выгон В. Г. и др. Оценка движения аварийных космических аппаратов относительно центра масс по реальным оптическим наблюдениям // Экологический вестник науч. центров ЧЭС. 2013. **2**, № 4. С. 7—14. (Междунар. конф. «Околоземная астрономия 2013»).
5. Ackermann M. R., Kiziah R. R., Zimmer P. C., et al. Alternatives for ground-based, large-aperture optical space surveillance systems // Proc. of 2013 AMOS Technical Conference.—23 p.
6. Aleshin V. P., Grishin E. A., Novgorodtsev D. D., Shargorodsky V. D. Monitoring of near-space anthropogenic pollution by observation of the Altay laser-optical center, International Conference On One Wave-Two Wave Laser Range Estimation. Snt.-Peterburg, 2012. P. 76—78.
7. Aleshin V. P., Grishin E. A., Shargorodsky V. D., Novgorodtsev D. D. Altay optic-laser center capability to satellites emergencies estimation, 9th US/Russian Space Surveillance Workshop, Listvyanka, Irkutsk, 2012.—23 p.
8. Amos User's Manual, Air Force Research Laboratory. Kihei, Maui, Hawaii, 2001. 117 p.
9. del Monte L. A European approach to space situational awareness, security strategy and partnerships development office DG Policy Office European Space Agency, Fourth European Space Weather Week, Brussels, 2007.—18 p.
10. Douglas A. H., Stuart M. J., Giebink C. Imaging geo-synchronous satellites with the AEOS telescope // Proc. of 2010 AMOS Technical Conference.—8 p.
11. Shah R., Woods D. F., Faccenda W., et al. Asteroid detection with the space surveillance telescope // Proc. of 2012 AMOS Technical Conference.—9 p.
12. Stuart M. J., Douglas A. H. Next generation image restoration for space situational awareness, report AFOSR grant number: FA9550-06-1-0179, 2009. 17 p.
13. Terebizh B. Yu. A wide-field corrector at the prime focus of a Ritchey-Chretien telescope // Astron. Lett. 2004. **30**. P. 200—208. Also available at <http://xxx.lanl.gov>, paper astro-ph/0402212.
14. Woods D. F., Shah R., Johnson J., et al. The space surveillance telescope: focus and alignment of a three mirror telescope // Proc. of 2013 AMOS Technical Conference.—11 p.

Статья поступила в редакцию 01.12.15