

06, июнь 2016

УДК 681.7.062.3

**Разработка оптимального технологического процесса изготовления 6-ти
метрового главного зеркала
«Большого Телескопа Альт-Азимутального»**

Люй П.Ц., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Лазерные и оптико-электронные системы»*

*Научный руководитель: Денисов Д.Г., к.т.н., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Лазерные и оптико-электронные системы»*

denisovdg@bmstu.ru

*Семенов А.П., ведущий инженер ОАО «ЛЗОС», к.т.н., доцент
Россия, 105005, г. Москва, МИРЭА*

*Патрикеев В.Е., начальник бюро ОАО «ЛЗОС»
Россия, 140080, г. Лыткарино, ОАО «ЛЗОС»*

Большой Телескоп Альт-Азимутальный (БТА) является крупнейшим в Евразии телескопом и являлся самым большим телескопом в мире с 1975 по 1993. Имеет конструкцию телескопа-рефлектора. Установлен в Специальной астрофизической обсерватории РАН у подножия горы Пастухова на высоте 2070 м над уровнем моря в Зеленчукском районе Карачаево-Черкесской Республики. Специальная астрофизическая обсерватория РАН обеспечивает непрерывную работу телескопа по заявкам как российских, так и зарубежных ученых. Главное зеркало телескопа-рефлектора (рис. 1) имеет диаметр 6050 мм, массу 42 т и форму параболоида вращения. Изготовление зеркала представляет большую техническую трудность из-за значительных габаритных размеров детали и высоких требований к качеству оптической поверхности, параметрам формы поверхности и показателю шероховатости. Площадь рабочей поверхности зеркала исчисляется квадратными метрами, а ее форма выражается долями микрометра. Для БТА было изготовлено два зеркала, одно из которых установлено на телескопе, а другое проходит стадии технологической доработки, рассмотренной в данной статье.

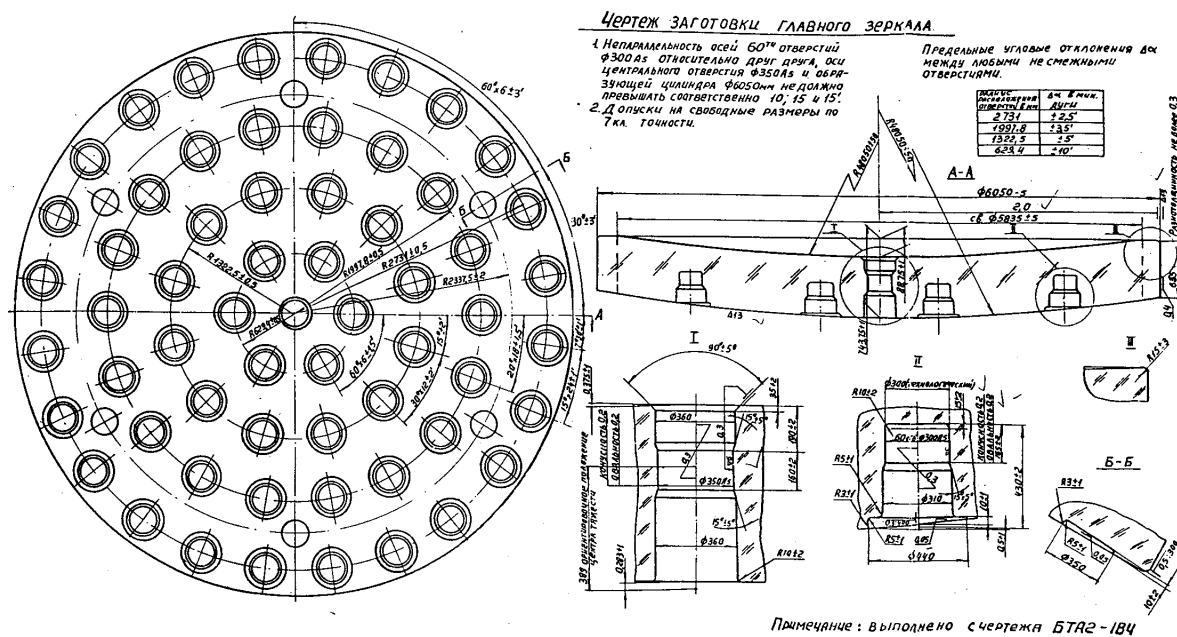


Рис. 1. Эскиз заготовки главного зеркала БТА

Для изготовления главного зеркала Большого Телескопа Альт-Азимутального в 60-х годах было разработано и применено стекло Пирекс 316 (табл. 1).

Таблица 1

Свойства стекла Пирекс 316

Свойство	Единицы измерения	Величина
Плотность γ	г/см ³	2,48
Модуль упругости $E \cdot 10^{-3}$	кгс/мм ²	6,685
Коэффициент теплопроводности λ	Вт/(м · град)	1,0
ОТКЛР α^{-6}	1/град	3,5
$(\alpha/\lambda) \cdot 10^{-8}$	м/Вт	3,0

Параболическая рабочая поверхность зеркала удовлетворяет уравнению $x^2 = 2 \cdot 48000z$, создается методом механического съема материала.

Общий вид техпроцесса изготовления зеркала:

1. Получение заготовки.
2. Контроль заготовки на пузырность, однородность, наличие включений.

3. Установка зеркала на станок КУ-158. Контроль радиального и торцевого биения.
4. Кругление заготовки алмазным инструментом.
5. Фрезерование нерабочей поверхности алмазным инструментом. Промывка, протирка, контроль.
6. Изготовление отверстий алмазным инструментом..
7. Изготовление, контроль центрального отверстия.
8. Фрезерование рабочей поверхности радиусом 48 м алмазным инструментом с суммарным съёмом стекла по толщине порядка 9 мм. Промывка, протирка, контроль.
9. Установка зеркала на станок КУ-168, центрирование, закрепление.
10. Глубокое шлифование рабочей поверхности шлифпорошком №12 до шероховатости поверхности $\leq Rz20$.
11. Шлифование рабочей поверхности шлифпорошком №5 до шероховатости поверхности $\leq Rz10$ (рис. 2).

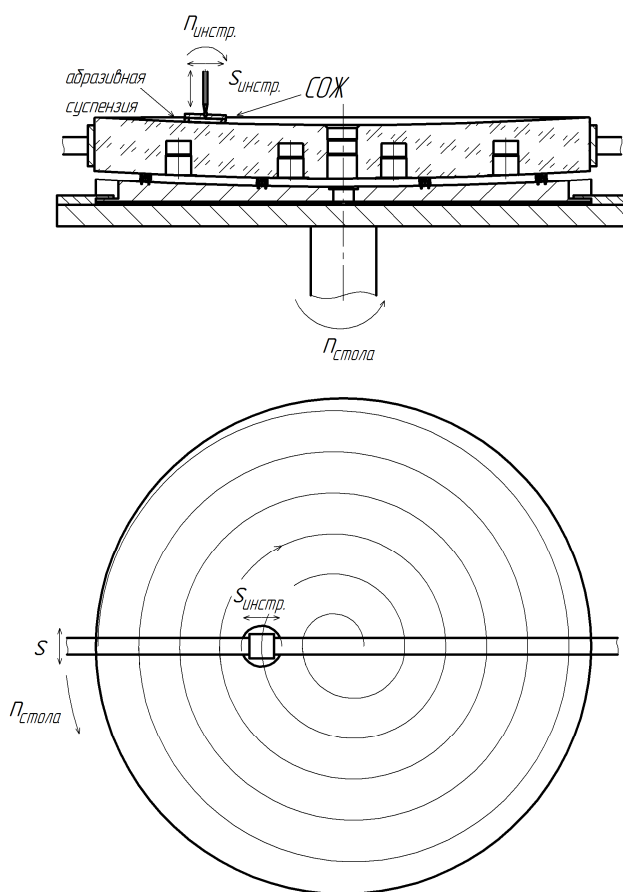


Рис. 2. Шлифование рабочей поверхности главного зеркала БГА

12. Контроль шероховатости поверхности зеркала.
13. Шлифование микропорошком М40 до шероховатости поверхности $\leq Ra$ 1.25.
14. Контроль шероховатости поверхности зеркала.
15. Шлифование рабочей поверхности микропорошком М14 до шероховатости поверхности Ra 0.25 – 0.16.
16. Полирование сферической поверхности для проведения интерферометрического контроля ее формы.
17. Интерферометрический контроль рабочей поверхности зеркала.
18. Асферизация рабочей поверхности шлифованием микропорошками М28, М14, М10. Контроль формы поверхности.
19. Полирование асферической поверхности до $N=30$ колец.
20. Контроль интерферометром с голографическим корректором волнового фронта.
21. Полирование асферической поверхности до $N \leq 15$ колец.
22. Контроль интерферометром с голографическим корректором волнового фронта.
23. Полирование асферической поверхности до $СКО = 0,2\lambda$.
24. Контроль интерферометром с голографическим корректором волнового фронта.

Методы аттестации асферических поверхностей основаны на создании волновых фронтов сравнения, форма которых при отражении от контролируемой поверхности соответствует расчетной. Для контроля рабочей поверхности зеркала БТА используется специальный синтезированный голографический корректор волнового фронта. В интерференционных методах такой анализ осуществляется путем сравнения исследуемого фронта с эталонным. Контроль сферического зеркала проводим с помощью интерферометра ИТ-172, построенного по схеме неравноплечего интерферометра Тваймана – Грина (рис. 3).

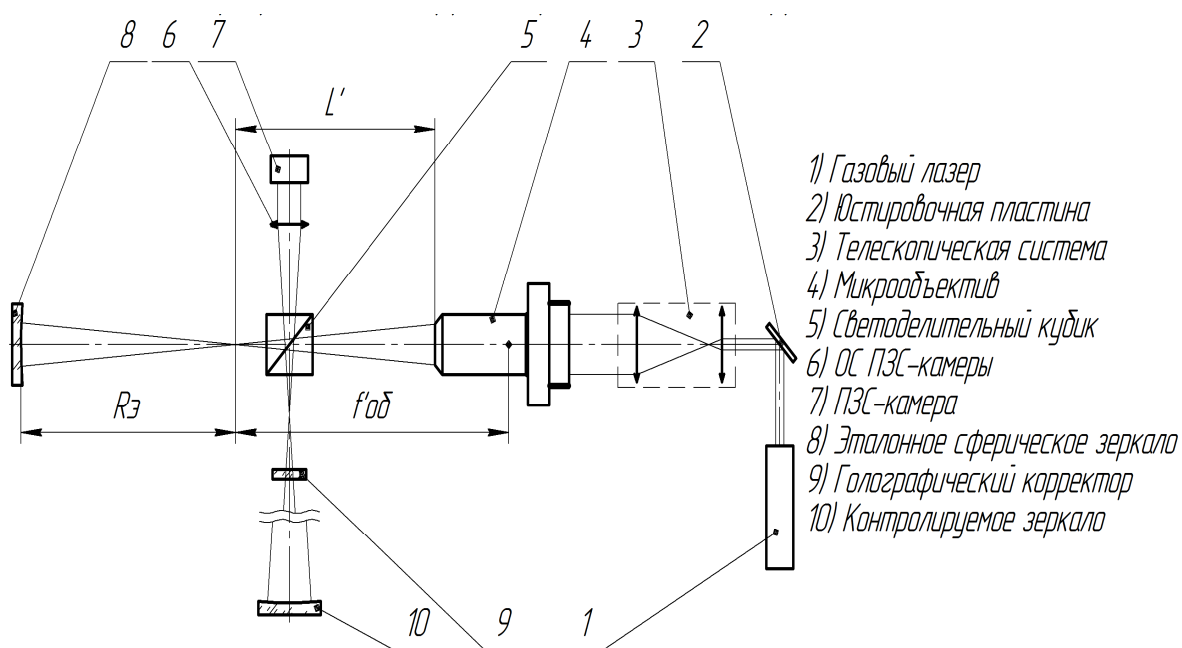


Рис. 3. Функциональная схема интерферометра Твеймана-Грина с компенсатором в объектной ветви

Интерферометр работает следующим образом. Пучок света от лазера (1), отражается от юстировочной пластины (2), расширяется телескопической системой (3) и преобразуется в пучок с расходящимся сферическим волновым фронтом микрообъективом (4). Далее пучок света расщепляется светоделительным кубиком (5) на два пучка. Опорный пучок падает и отражается от эталонного зеркала (8). Объектный пучок проходит через корректор (9) падает и отражается от контролируемого зеркала (10). На обратном пути два сферических пучка (объектный и опорный) пересекаются на рабочей грани светоделительного кубика (5) и формируют интерференционную картину в виде набора интерференционных полос. Оптическая система ПЗС-камеры (6) переносит интерференционную картину на ПЗС-матрицу. ПЗС-камера (7) в свою очередь переносит информацию в компьютер, который выводит ее так же на монитор. Если исследуемое зеркало имеет дефекты геометрии, то это проявится в искривлении интерференционных полос.

На основании функциональной схемы, предложена конструкция стенда контроля заданной оптической детали (рис. 4). Конструктивно прибор контроля собран из отдельных узлов, размещенных на единой базовой платформе. Каждый узел оснащен отдельно взятыми юстировочными механизмами, позволяющими съюстировать оптический тракт интерферометра, контролируя положения точек сопряжения.

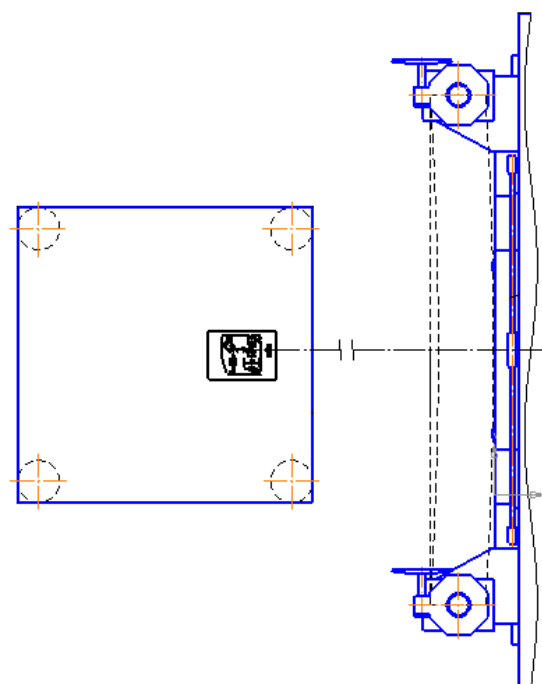


Рис. 4. Схема контроля

Поскольку профиль рабочей поверхности зеркала – парабола, то в схеме интерферометра используется голографический корректор, преобразующий сферический волновой фронт в асферический. Положение голографического корректора относительно контролируемого зеркала показано на рис. 5. Для контроля должен быть использован интерферометр с эталонным объективом. Дифракционная структура обращена к контролируемому зеркалу.

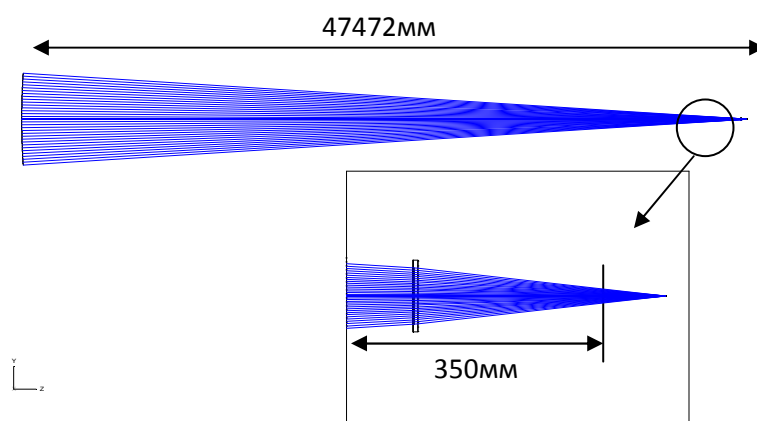


Рис. 5. Схема контроля БТА при помощи корректора

В работе были рассмотрены особенности формообразования и обработки главного крупногабаритного астрономического зеркала БТА. Была предложена конструкция стенда контроля, построенная на базе предложенной функциональной схемы, а также методика контроля крупногабаритного астрономического зеркала.

Список литературы

- [1]. Окатов М. А., Антонов Э. А. и др. Справочник технолога-оптика / под ред. М.А. Окатова. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Политехника, 2004. 864 с.
- [2]. Alexander P. Semenov, Magomed A. Abdulkadyrov, Alexey P. Patrikeev , Vladimir E. Patrikeev , Vitaliy V. Pridnya. M1 and M2 Mirror Manufacturing for ARIES project. Available at: <http://lzos.ru/content/view/258/5/>, accessed 09.02.2016.
- [3]. Магомед А. Абдулкадыров, Сергей П. Белоусов, Александр Н. Игнатов, Владимир Е. Патрикеев, Виталий В. Придня, Андрей В. Полянщиков, Виктор В. Румянцев, Анатолий В. Самуйлов, Александр П. Семенов, Юрий А. Шаров. Изготовление крупногабаритной оптики наземного и космического базирования. Режим доступа: <http://lzos.ru/content/view/223/5/> (дата обращения 09.02.2016).