

Новые возможности лазерно-голографического контроля крупноформатных зеркал ELT-телескопов на основе использования конических синтезированных голограмм

А. В. Лукин, А. Н. Мельников, А. Ф. Скочилов

АО «Научно-производственное объединение «Государственный институт прикладной оптики»,
Казань, Россия

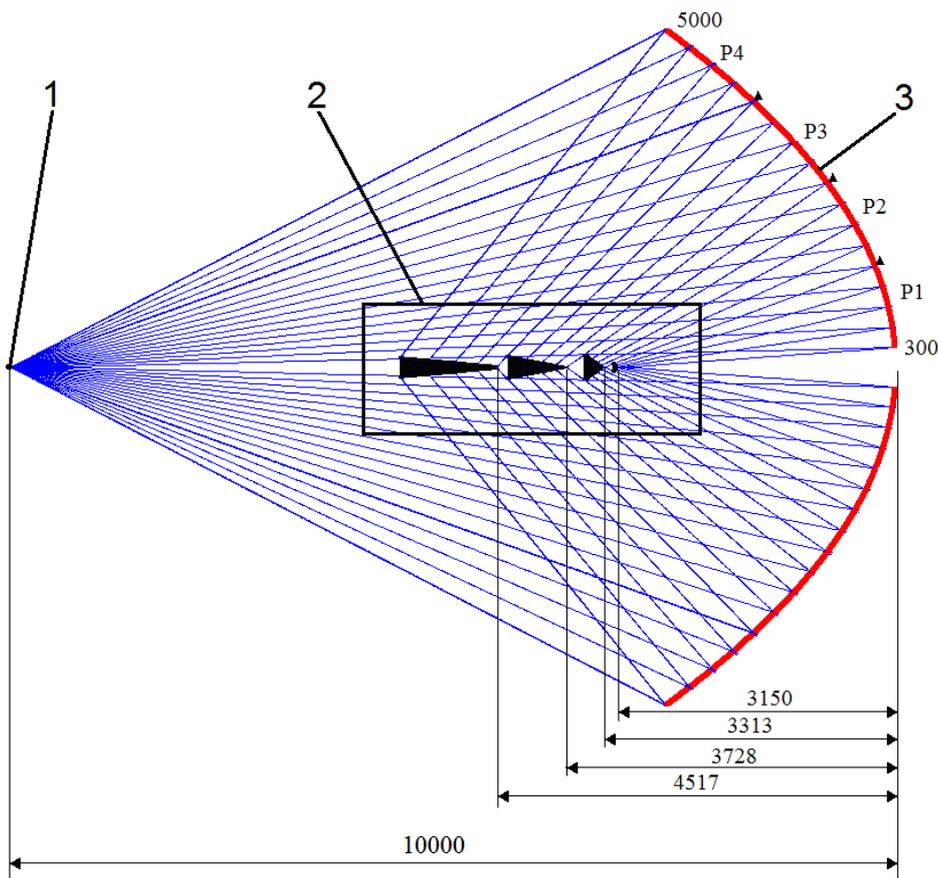
В докладе представлены варианты осуществления лазерно-голографического контроля формы крупноформатных зеркал ELT-телескопов на основе использования одиночной осевой синтезированной амплитудной голограммы, выполненной на конической подложке, в качестве оптического компенсатора или системы таких соосных голограмм. Приведены значения основных параметров контрольных схем и максимальные пространственные частоты дифракционных структур соответствующих конических синтезированных голограмм для вогнутых составных главных зеркал трех известных проектируемых телескопов: «Миллиметр» — \varnothing 10 м, James Webb Space Telescope — \varnothing 6,6 м, Extremely Large Telescope (ELT) — \varnothing 39,3 м. Показано, что имеющееся технологическое оборудование обеспечивает возможность изготовления с необходимой точностью рассчитанной дифракционной структуры соответствующих синтезированных голограмм-компенсаторов.

Ключевые слова: лазерно-голографический контроль формы, составное крупноформатное зеркало, зеркальный телескоп, соосные синтезированные голограммы, амплитудный голограммный компенсатор, подложка с конической рабочей поверхностью, видимый спектральный диапазон, инфракрасный спектральный диапазон.

Цитирование: Лукин, А. В. Новые возможности лазерно-голографического контроля крупноформатных зеркал ELT-телескопов на основе использования конических синтезированных голограмм / А. В. Лукин, А. Н. Мельников, А. Ф. Скочилов // НОЛОEXPO 2021 : XVIII Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. — С. 11–15.

В настоящее время на разных стадиях разработки и изготовления находится большое количество крупногабаритных телескопов наземного и космического базирования (Extremely Large Telescope, ELT и Very Large Telescope, VLT), предназначенных для работы в широком диапазоне спектра — от рентгеновского до миллиметрового. Крупноформатные вогнутые главные зеркала таких телескопов преимущественно составные [1–3] и отличаются большой асферичностью, градиентом асферичности и крутизной. Современные метрологические методы и средства не обеспечивают необходимую точность, надежность и оперативность измерений формы рабочих поверхностей таких зеркал [4].

В докладе излагается возможное решение данной проблемы на основе использования одиночной осевой синтезированной амплитудной голограммы, выполненной на конической подложке, в качестве оптического компенсатора или цепочки таких голограмм [5].



1 – монохроматический точечный источник излучения (МТИИ); 2 – цепочка из 4-х соосных синтезированных амплитудных голограмм на конических рабочих поверхностях; 3 – контролируемая поверхность вогнутого асферического составного главного зеркала (АСГЗ); P1 – центральная монолитная зона; P2–P4 – панели соответствующих трех ярусов

Рис. 1. Упрощенная принципиальная оптическая схема лазерно-голографического контроля формы вогнутого составного главного зеркала телескопа космического базирования «Миллиметр»

Табл. 1. Параметры конических рабочих поверхностей подложек синтезированных голограмм-компенсаторов

| Номер голограммы | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|-------|-------|-------|--------|
| Номер контролируемого кольцевого сегмента зеркала | P1 | P2 | P3 | P4 |
| Световой диаметр основания конуса, мм | 128,5 | 386,6 | 332,3 | 261,6 |
| Угол при вершине конуса β , ° | 128,0 | 86,0 | 28,0 | 13,6 |
| Высота конуса, мм | 31,3 | 207,3 | 666,4 | 1097,1 |

В качестве иллюстрации на рис. 1 представлен один из возможных вариантов упрощенной принципиальной оптической схемы лазерно-голографического контроля формы вогнутого составного главного зеркала космического телескопа «Миллиметр» при помощи цепочки из четырех конических синтезированных голограмм, первая из которых предназначена для контроля формы рабочей поверхности центральной монолитной зоны (P1), а другие три – панелей соответствующих трех ярусов (P2–P4) данного зеркала [1, 6].

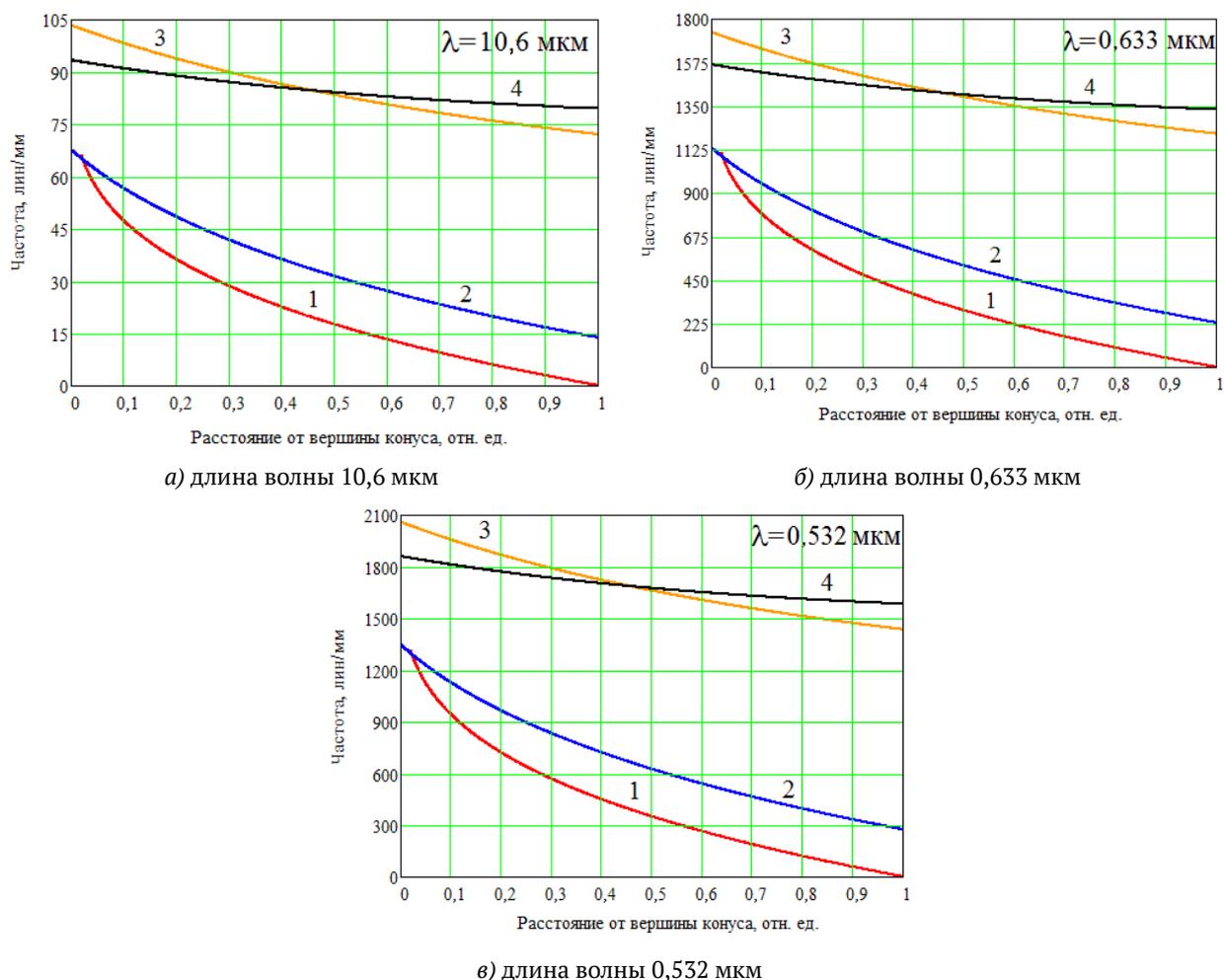


Рис. 2. Частотные характеристики дифракционной структуры четырех конических синтезированных голограмм-компенсаторов, рассчитанные для лазерных длин волн (номера голограмм 1–4 в соответствии с табл. 1)

В таб. 1 приведены параметры каждой из четырех конических рабочих поверхностей подложек синтезированных голограмм-компенсаторов, показанных на рис. 1.

На рис. 2 показаны частотные характеристики дифракционной структуры четырех конических синтезированных голограмм-компенсаторов в соответствии с табл. 1, рассчитанные для трех лазерных длин волн.

В табл. 2 и 3 приведены выбранные основные параметры схем контроля формы, параметры конических рабочих поверхностей синтезированных голограмм-компенсаторов и максимальные пространственные частоты дифракционных структур соответствующих голограмм, рассчитанные на трех лазерных длинах волн, для вогнутых составных главных зеркал телескопов James Webb Space Telescope – Ø 6,6 м [2] и Extremely Large Telescope (ELT) – Ø 39,3 м [3].

Приведенные расчетные данные получены на основе использования пакета прикладных программ Mathcad.

Следует отметить, что на начальных этапах сборки составных главных зеркал рассмотренных телескопов может оказаться целесообразным использование когерентных свойств

Табл. 2. Основные параметры схемы контроля формы составного главного зеркала телескопа James Webb Space Telescope и соответствующей конической синтезированной голограммы

| Номер голограммы | Расстояние вдоль оптической оси от вершины АСГЗ до МТИИ, мм | Расстояние вдоль оптической оси от вершины АСГЗ до вершины конуса, мм | Световой диаметр основания конуса, мм | Угол при вершине конуса β , ° | Высота конуса, мм | Максимальная пространственная частота, лин/мм | | |
|------------------|---|---|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|---|-----------------------|-----------------------|
| | | | | | | $\lambda = 10,6$ мкм | $\lambda = 0,633$ мкм | $\lambda = 0,532$ мкм |
| 1 | 19513,0 | 13392,0 | 218,8 | 152,4 | 26,9 | 39,941 | 668,84 | 795,819 |

Табл. 3. Основные параметры схемы контроля формы составного главного зеркала телескопа ELT и соответствующих конических синтезированных голограмм

| Номер голограммы | Расстояние вдоль оптической оси от вершины АСГЗ до МТИИ, мм | Расстояние вдоль оптической оси от вершины АСГЗ до вершины конуса, мм | Световой диаметр основания конуса, мм | Угол при вершине конуса β , ° | Высота конуса, мм | Максимальная пространственная частота, лин/мм | | |
|------------------|---|---|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|---|---------------------|---------------------|
| | | | | | | $\lambda=10,6$ мкм | $\lambda=0,633$ мкм | $\lambda=0,532$ мкм |
| 1 | 83000,0 | 59269,0 | 258,6 | 144,0 | 42,0 | 43,871 | 734,655 | 874,129 |
| 2 | | 60078,0 | 433,8 | 134,0 | 92,1 | 43,843 | 734,182 | 873,567 |
| 3 | | 61094,0 | 394,7 | 124,0 | 104,9 | 48,187 | 806,925 | 960,120 |
| 4 | | 61915,0 | 665,0 | 120,0 | 192,0 | 47,592 | 796,951 | 948,252 |

лазерных диодных источников, позволяющих оценивать значительные отступления контролируемых поверхностей от заданной формы методом «оконтуривания» [7].

Из представленных данных видно, что значения и требуемые точности выполнения параметров дифракционных структур соответствующих синтезированных голограмм-компенсаторов находятся в пределах практических возможностей современных прецизионных технологических методов и средств. Тем самым обеспечивается реальная возможность осуществления предложенных модификаций лазерно-голографического метода контроля формы АСГЗ практически всех разрабатываемых в настоящее время VLT- и ELT-телескопов наземного и космического базирования.

Список источников

- [1] Астрокосмический центр ФИАН. Космическая обсерватория «Миллиметрон» / URL: millimetron.ru.
- [2] Космический телескоп «James Webb Space Telescope» / URL: www.jwst.nasa.gov.
- [3] Телескоп «Extremely Large Telescope» / URL: www.elt.eso.org.
- [4] **Бронштейн, Ю. Л.** Крупногабаритные зеркальные системы (контроль геометрии, юстировка) / Ю. Л. Бронштейн. — М. : ДПК Пресс, 2015. — 600 с.
- [5] **Заявка на изобретение № 02 105 75 РФ.** Осевой синтезированный голограммный оптический элемент / А. В. Лукин, А. Н. Мельников, А. Ф. Скочилов. — Дата приоритета 25.02.2021.

- [6] **Лукин, А. В.** О возможностях лазерно-голографического контроля процессов сборки и юстировки составного главного зеркала телескопа на примере космической обсерватории «Миллиметрон» / А. В. Лукин, А. Н. Мельников, А. Ф. Скочиллов, В. Н. Пышнов // Оптический журнал. — 2017. — Том 84. — № 12. — С. 45–49.
- [7] **Лукин, А. В.** К вопросу о когерентных свойствах лазерных источников в интерферометрии и голографии / А. В. Лукин // Оптический журнал. — 2012. — Том 79. — № 3. — С. 91–96.