

# Моделирование открытого телескопа Кассегрена для задач современной оптической связи

А. А. Шустова<sup>1</sup>, С. Г. Алексеев<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> АО SR Space, Москва, Россия

<sup>2</sup> ООО «Геофотоника», Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> АО «ГК Динамика», Москва, Россия

Стремительное развитие оптических систем дистанционного зондирования Земли и открытых каналов связи требует эффективных телескопических систем. Наиболее перспективной и надежной схемой (относительно массо-габарита) является открытый телескоп Кассегрена. В докладе представлен численный (модельный) поиск оптимальных комбинаций критических параметров подобных телескопов, отвечающих конкретным запросам современной индустрии. Новизна разработки заключается в обладании оптической системы высокой светосилой за счет максимизации апертуры посредством отсутствия в ней первой линзы, а также вынесения за пределы корпуса одного из зеркал.

*Ключевые слова:* Телескоп Кассегрена, Лазерная связь, Открытый телескоп, Дистанционное зондирование Земли, Спутниковая связь.

*Цитирование:* Шустова, А. А. Моделирование открытого телескопа Кассегрена для задач современной оптической связи / А. А. Шустова, С. Г. Алексеев // HOLOEXPO 2023: 20-я Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. — С. 232–235.

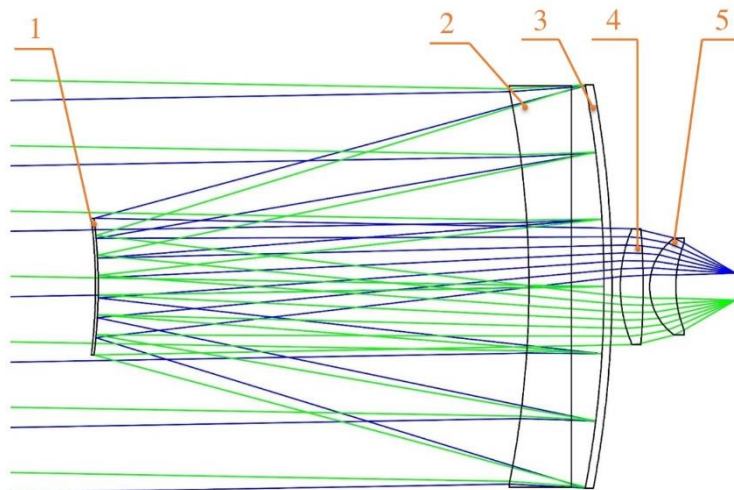
## Введение

В настоящее время большой интерес исследователей представляет разработка телескопических систем, не имеющих корпуса в своем составе. Зачастую такие телескопы применяются для дистанционного зондирования Земли, космических исследований, а также в спутниковой и плането-спутниковой связи. Важным преимуществом открытых оптических систем является их обладание высокой светосилой вследствие возможности значительного увеличения диаметра входного зрачка системы. По этой причине появляется возможность увеличения дальности действия системы при относительно малых массогабаритных характеристиках. Одним из наиболее известных примеров открытых телескопических систем является телескоп Джеймс Уэбб [1]. Данная работа посвящена расчету оптимальных конструктивных параметров оптической системы Кассегрена, в которой отсутствует первая линза и одно из зеркал вынесено за пределы корпуса.

## Оптическая схема и конструкция открытого телескопа Кассегрена

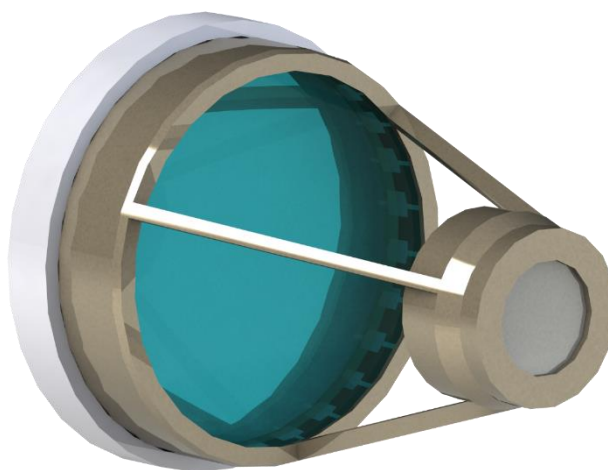
На рисунке 1 представлена оптическая схема, которая является одним из наиболее оптимальных результатов проведенного исследования. Излучение, исходящее от отдаленного источника, отражается от первичного зеркала поз. 3, отражается от вторичного зеркала поз. 1 и попадает на приемник излучения. Линза 2, а также линзы 4 и 5 необходимы в системе для фокусировки пятна рассеяния. Расстояние от первичного зеркала до последней

поверхности последней линзы в рабочем режиме телескопа составляет 195 мм. Радиус пятна рассеяния системы равен 1.74 мкм. На рисунке 2 проиллюстрирована демонстрационная версия конструкции. В реальной конструкции подразумевается присутствие механизма, позволяющего сделать вторичное зеркало складным либо выдвижным, что уменьшает габариты телескопа при выводе его на орбиту.



1 – вторичное зеркало; 2 – линза; 3 – первичное зеркало; 4 и 5 – корректирующие линзы

**Рис. 1.** Оптическая схема разрабатываемого телескопа



**Рис. 2.** Демонстрационный вид конструкции для открытого телескопа Кассегрена

### **Расчет отношения сигнал-шум открытого телескопа Кассегрена**

Известны системы, схожие по габаритам с рассчитанной, имеющие дальность действия в пределах 1500 км [2]. Для данной работы был проведен расчет отношения сигнал-шум (ОСШ), показывающий возможность действия телескопа на расстояниях до 5000 км, как пример одного из значений зоны средних околоземных орбит [4]. При вычислении ОСШ была определена доля энергии излучения, передаваемая на приемное устройство:

$$k = \frac{S_{1 \text{ зеркала}}}{S_{\text{пятна лазера}}} \cdot \frac{S_{2 \text{ зеркала}}}{S_{1 \text{ зеркала}}}, \quad (1)$$

где  $S_{1 \text{ зеркала}}$  и  $S_{2 \text{ зеркала}}$  – соответственно площади первичного и вторичного зеркал, а  $S_{\text{пятна лазера}}$  находится при вычислении радиуса пятна приходящего на приемник излучения:

$$r \approx \frac{\varphi}{2} \cdot L, \quad (2)$$

где  $L$  – дальность действия устройства,  $\varphi$  – угловая расходимость лазера, находящаяся по формуле:

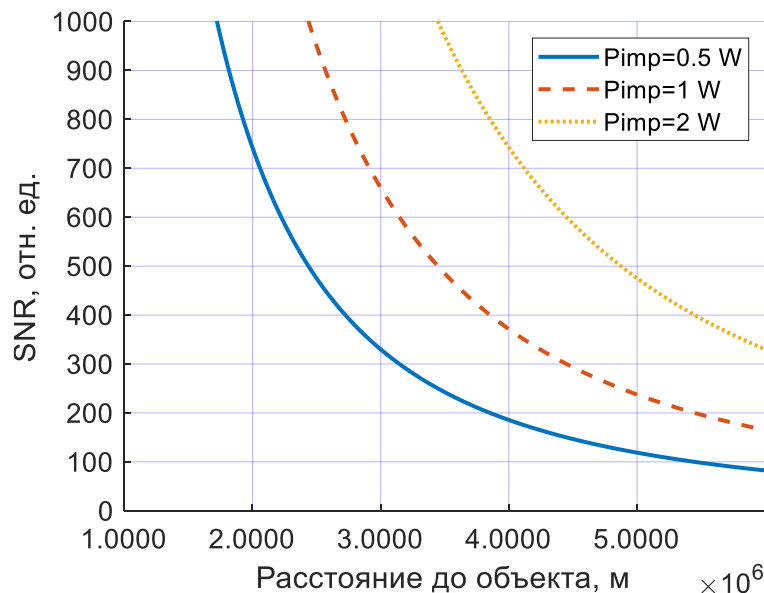
$$\varphi = \frac{2.44 \cdot \lambda}{d} \quad (3)$$

$\lambda$  – рабочая длина волны, равная 1340 нм для данного случая,  $d$  – диаметр выходной апертуры лазера.

Отношение сигнал-шум было вычислено по формуле:

$$SNR = \frac{P_{\text{лазера}} \cdot k}{P_{\text{шум}}} \quad (4)$$

$P_{\text{шум}}$  – шумы, появляющиеся на матричном приемнике излучения, которые для современных приемо-передатчиков равны 3-10 нВт [3]. Результаты выполненного расчета отношения сигнал-шум в зависимости от дальности и мощности лазерного излучателя представлены на рисунке 3.



**Рис. 3.** График зависимости отношения сигнал-шум от дальности до объекта для трех значений мощности лазера

### Заключение

В рамках данной работы был выполнено численное моделирование системы, предназначенной для задач оптической связи в космическом пространстве. Был проведен предварительный расчет отношения сигнал-шум для трех значений мощности лазерного

источника. Преимущество системы заключается в увеличенной дальности для выбранного габарита за счет отсутствия первой линзы в телескопе Кассегрена и вынесения вторичного зеркала за пределы корпуса системы. Полученная система может найти применение как в системах оптической связи, так и в задачах, связанных с дистанционным зондированием Земли и получении высококонтрастных изображений отдаленных космических объектов. Выполненное моделирование показывает востребованность подобных систем и требует дальнейших исследований.

### Список источников

- [1] **Gardner, J. P.** The James Webb Space Telescope Mission / J.P. Gardner, J.C. Mather, R. Abbott, J.S. Abell, M. Abernathy, F. E. Abney, J.G. Abraham, R. Abraham, Y. M. Abul-Huda, S. Acton, et al. // Publications of the Astronomical Society of the Pacific. – 2023. – Vol 135. – 24 p.
- [2] **Li, L.** Advanced Space Laser Communication Technology on CubeSats / L. Li, X. J. Zhang, J. H. Zhang, et al. // ZTE Communications. – 2020. – Vol 18. – P. 45-54.
- [3] Универсальный совместимый приемопередатчик / URL: <https://www.optcore.net/product/10gbs-smf-1550nm-ultra-long-100km-sfp-ezr-optical-transceiver-module/>
- [4] Классификация околоземных орбит / URL: <https://universemagazine.com/ru/klassyfykaczyya-okolozemnyh-orbyt/>

## Modeling of the open Cassegrain Telescope for Modern Free-Space Communication Research

*A. A. Shustova<sup>1</sup>, S. G. Alexeev<sup>1,2,3</sup>*

<sup>1</sup> JSC SR Space, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Geophotonics LLC, Saint Petersburg, Russia

<sup>3</sup> JSC GC DYNAMICS, Moscow, Россия

Burst growth of optical systems for Earth's remote sensing and free-space optical communication channels drives to requirement in efficient telescopic systems. An open Cassegrain telescope, due to best possible mass-dimension characteristics, presents the most promising and reliable configuration. This report introduces optimal key parameters combinations computational research for such telescopes that rely on specific requirements of contemporary industry. The novelty of this development is achieving maximum aperture ratio to dimension, based on the absence of a primary lens and the relocation of one of the mirrors outside the main body.

*Keywords:* Cassegrain telescope, Laser communication, Open telescope, Earth remote sensing, Satellite communication.