

Оценка фазовых шумов лазерного гетеродинного интерферометра для гравитационно-волновой антенны

Е. А. Лавров, С. С. Донченко, Д. А. Соколов

ФГУП «ВНИИФТРИ», р. п. Менделеево, Россия

В работе описаны принципы построения лазерного гетеродинного интерферометра, измеряющего относительные перемещения пробных масс в проекте космической гравитационно-волновой антенны. Представлены результаты по оценке и исследованию основных источников шума: флуктуации частоты лазерного излучателя, драйверов акустооптических модуляторов, фотодетекторов, температурных флуктуаций и т.д. Наибольший вклад в шумы макета интерферометра внесли температурные флуктуации. Суммарный расчётный шумовой бюджет не превышает 20 пм в диапазоне частот от 2 до 10 Гц. Сформулированы предложения по модернизации макета для уменьшения уровня шумов до требуемого уровня (менее 30 пм) во всем частотном диапазоне от 100 мГц до 10 Гц.

Ключевые слова: Межспутниковый лазерный интерферометр, Гетеродинный интерферометр, Гравитационные волны, Шумы интерферометра.

Цитирование: Лавров, Е. А. Оценка фазовых шумов лазерного гетеродинного интерферометра для гравитационно-волновой антенны / Е. А. Лавров, С. С. Донченко, Д. А. Соколов // НОЛОЕХРО 2023: 20-я Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. — С. 270–272.

Введение

В работе [1] был предложен проект российской космической гравитационно-волновой антенны (ГВА) на геоцентрической орбите Земли ГЛОНАСС под названием SOIGA. Для опробования основных технических решений и полунатурного макетирования разработан макет гетеродинного интерферометра. Проведена оценка основных источников шума при измерении относительных перемещений пробных масс и выполнимости требований по чувствительности таких измерений.

1. Проект гравитационно-волновой антенны SOIGA

Основным измерительным устройством ГВА является лазерный интерферометр. На каждом из космических аппаратов (КА) размещается интерферометр Майкельсона, пробные массы на двух других КА являются его оконечными зеркалами. При прохождении гравитационной волны через плоскость антенны SOIGA изменяется геометрия интерферометра, а именно, длина каждого плеча интерферометра. Изменения расстояния между поверхностями пробных масс определяются путём измерения задержек фазы распространения лазерных лучей, прошедших через плечи интерферометра.

2. Наземный макет бортового интерферометра

Для исследования основных узлов ГВА был разработан наземный макет лазерного гетеродинного интерферометра, принцип работы которого приведён на рис. 1а. С помощью

макета решаются следующие задачи: оценка шумового бюджета и вклада основных источников шумов; оценка чувствительности и поиск путей достижения требуемых точностных характеристик при измерении приращений расстояния между пробными массами.

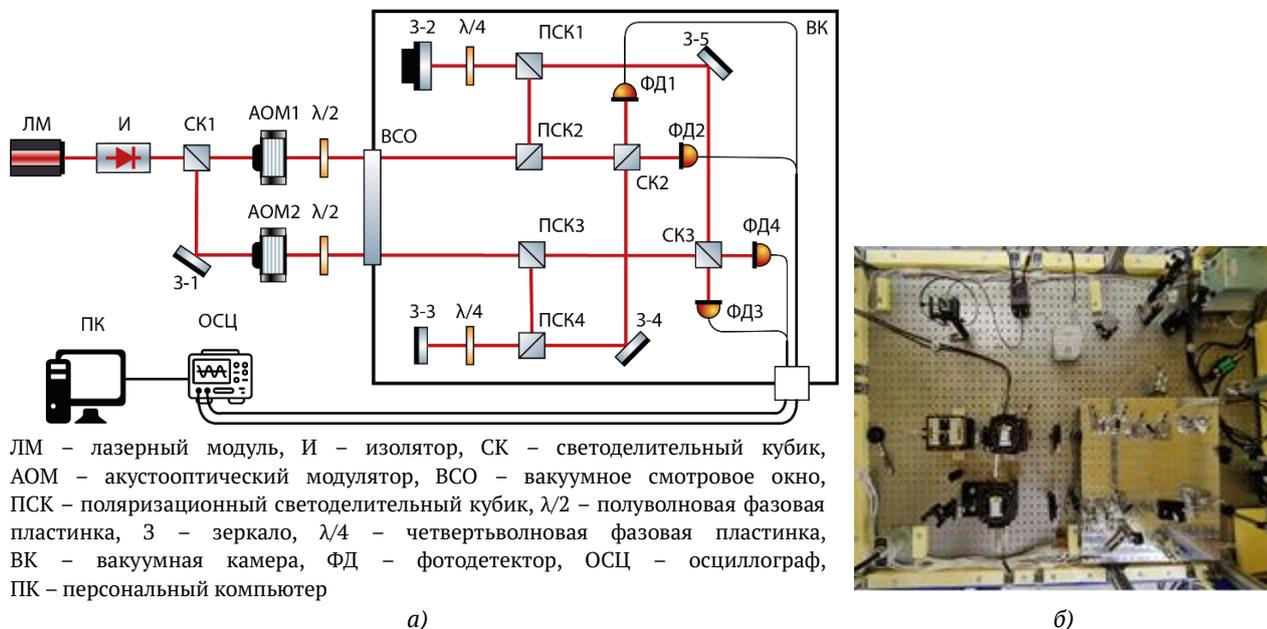


Рис. 1. а) Функциональная схема макета бортового интерферометра; б) внешний вид макета интерферометра

3. Оценка фазовых шумов лазерного гетеродинного интерферометра для гравитационно-волновой антенны

Основными источниками шумов лазерного гетеродинного интерферометра для гравитационно-волновой антенны являются: флуктуации частоты лазерного излучателя; драйверы акустооптических модуляторов; температурные флуктуации, акустические шумы и вибрации; шумы в фотодетекторах; шумы алгоритма определения разности фаз. Суммарный расчётный шумовой бюджет не превышает 20 пм в частотном диапазоне от 2 до 10 Гц.

Уменьшение вклада флуктуаций температуры возможно при использовании материалов с ультранизким коэффициентом температурного расширения.

Уменьшение влияния акустических, температурных и вибрационных шумов на работу интерферометра возможно при размещении макета в вакуумной камере на виброизоляционном подвесе.

Заключение

В работе описаны принципы построения лазерного гетеродинного интерферометра, измеряющего относительные перемещения пробных масс в проекте космической гравитационно-волновой антенны SOIGA. Приведены результаты исследований основных источников шумов. Сформулированы предложения по модернизации макета для

уменьшения уровня шумов до требуемого уровня (менее 30 пм) во всем частотном диапазоне от 100 мГц до 10 Гц.

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-11022\20.

Список источников

- [1] **Пустовойт, В. И.** Концепция создания космической лазерной гравитационной антенны на геоцентрической орбите ГЛОНАСС «SOIGA» / В. И. Пустовойт, С. И. Донченко, О. В. Денисенко, В. Ф. Фатеев // Альманах современной метрологии — 2020. — № 1(21). — С. 27–49.

Phase noise evaluation of the laser heterodyne interferometer for the gravitational wave antenna

E. A. Lavrov, S. S. Donchenko, D. A. Sokolov

FSUE «VNIIFTRI», Mendeleevo, Russia

The paper describes the principles of constructing a laser heterodyne interferometer for measurement of the relative displacements of test masses in the space gravitational wave antenna project. Results of evaluation and investigation of main noise sources such as frequency fluctuations of the laser, drivers of acousto-optic modulators, photodetectors, temperature fluctuations, etc are presented. The greatest contribution to the interferometer layout noise was made by temperature fluctuations. The total calculated noise budget does not exceed 20 pm in frequency range from 2 to 10 Hz. The proposals for reducing the layout's noise to the required level (less than 30 pm) over the entire frequency range from 100 mHz to 10 Hz are given.

Keywords: Intersatellite laser interferometer, Heterodyne interferometer, Gravitational waves, Interferometer noises.