

РАСЧЕТ ИНТЕНСИВНОСТИ СИГНАЛОВ В КОСМИЧЕСКОЙ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЕ S-LIGO

В. В. Беглик, П. Д. Кривошеев, И. П. Охрименко

Белорусский государственный университет, г. Минск;

vladbeglik@gmail.com, kryvasheyeu.pavel@gmail.com,

Ivan.Ohrymenko@gmail.com

науч. рук. – Н. Н. Кольчевский, канд. физ.-мат. наук, доцент

На сегодняшний день во всем мире функционируют 3 обсерватории, предназначенные для детектирования гравитационных волн – зарегистрировано 67 событий. Предложена космическая измерительная система гравитационных волн «S-LIGO-NxR-zy»; Разработано ПО для расчета кинематических характеристик S-LIGO в среде разработки RAD Studio версии 10.4.2, на языке программирования Delphi. Исследована система S-LIGO-N4R-Z2, состоящая из 4 спутников на 2 ортогональных орбитах в 2 конфигурациях. Выполнен расчет и анализ ключевых характеристик космического детектора гравитационных волн S-LIGO-N8R-Z2.

Ключевые слова: интерферометр, гравитационные волны, спутниковые системы, космический детектор, детектор гравитационных волн.

Реализация гравитационных детекторов, действительно способных зарегистрировать гравитационные волны, стала возможной лишь в XX веке. Первое подтвержденное обнаружение гравитационных волн было произведено детекторами Advanced LIGO 14 сентября 2015 года. Анализ данных для подтверждения того, что обнаруженный сигнал действительно был вызван гравитационной волной, а не артефактом, занял несколько месяцев, а объявление об обнаружении обнаружение было, наконец, сделано 11 февраля 2016 года.

В настоящее время, ведутся разработки наземных детекторов третьего поколения. Einstein Telescope (ET) и Cosmic Explorer (CE) - это проекты наземных детекторов гравитационных волн третьего поколения. Длины плеч ET составят 10 км (3 плеча), а CE – 40 км (2 плеча). Конфигурация ET отличается от LIGO-подобной конфигурации CE тем, что образует равносторонний треугольник под землей. CE располагается на поверхности земли (2 перпендикулярных плеча).

Предложено исследовать модель космического детектора гравитационных волн. Космос – условно неограниченное, по сравнению с Землей, пространство, в котором можно разместить детектор больших размеров и трехмерной конфигурации. Этот факт открывает доступ к областям спектра ГВ, недоступных для LIGO детекторов, размещенных на Земле. В качестве космического детектора ГВ предлагается космическая измерительная система искусственных спутников (ИС), расположенная на орбитах планет.

Предложена космическая измерительная система ГВ из x спутников с условным обозначением «S-LIGO-N x R-zy» Space - Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory), где X – количество спутников Z типа орбиты (низкоорбитальные – L, среднеорбитальные – M, геостационарные – G, высокоэллиптические – H – орбиты, Z – не зависит от типа), расположенных на Y – количестве орбит планеты наименования N (планета Земля – E).

В работе исследуется временная пространственная эволюция и возможности космического детектора ГВ «S-LIGO-N4R-Z2» с системой спутников. Разработано программное обеспечение (рис. 1) для моделирования космической спутниковой системы S-LIGO. Для написания программного обеспечения используется среда разработки Embarcadero RAD Studio. Данное программное обеспечение обладает различными функциями, примером может служить задание спутника и расчеты координат спутников, задание направления движения спутников, высоты и других важных параметров.

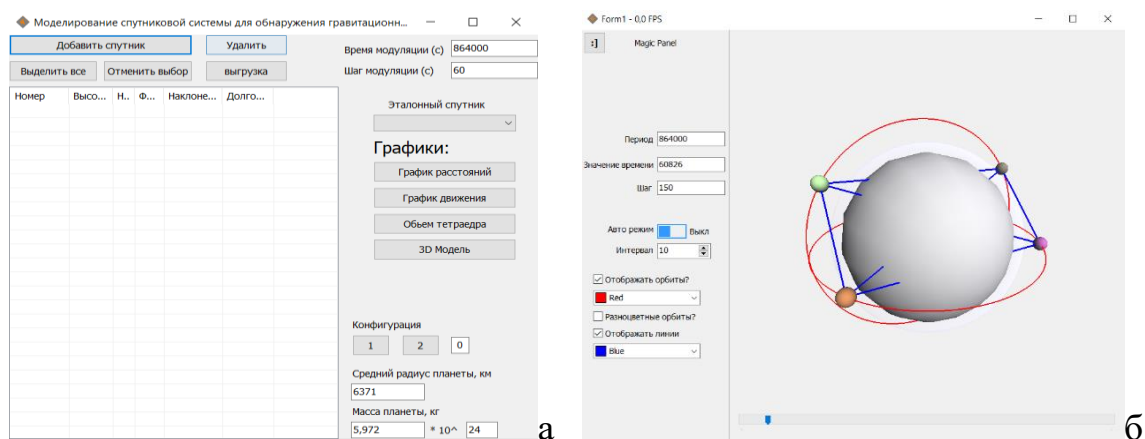


Рис. 1. Программное обеспечение (а) и 3D модель (б) системы геостационарных спутников «S-LIGO-E4R-G2»

Доступно также построение графиков движения системы спутников в проекциях на декартовую систему координат в проекциях XY, XZ, ZY, график расстояний спутников, расчет-оценка качества формирования трехмерной фигуры тетраэдр, 3D моделирование спутников с визуализацией граней, орбит. Данное программное обеспечение работает на версиях Windows 7 и выше.

Пространственные конфигурации космических систем могут задаваться множеством способов, зависящих от выбора количества орбит и вариацией зависимого размещения спутников на этих орбитах. В работе рассмотрены два способа задания конфигурации космического детектора S-LIGO-N4R-z2. Рассмотрены 2 способа задания спутников, которые периодически образуют правильный тетраэдр в пространстве (рис. 2, 3).

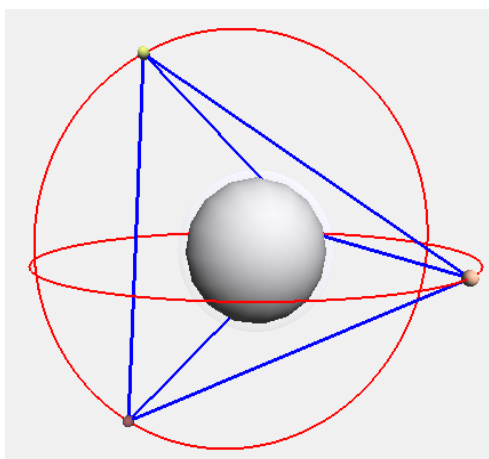


Рис. 2. Модель первой конфигурация спутников, образующих правильный тетраэдр в момент времени $t = 0$

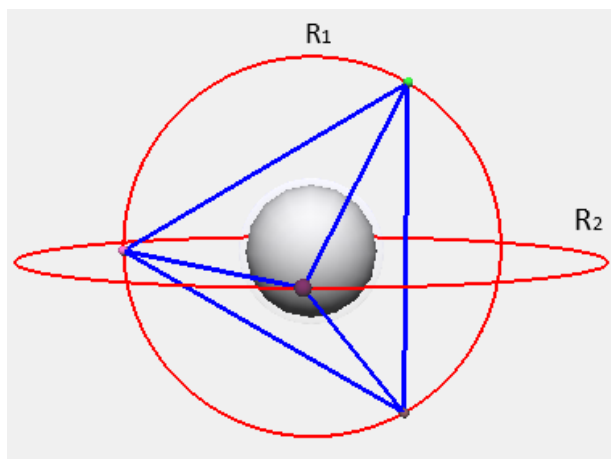


Рис. 3. Модель второй конфигурация спутников, образующих правильный тетраэдр в момент времени $t = 0$

Первый способ (рис. 2) заключается в том, что 3 спутника вращаются по одной геостационарной орбите радиусом R_1 с разностью фаз в 120° , образуя равносторонний треугольник. Четвертый спутник вращается на ортогональной им орбите радиусом R_2 таким образом, что:

$$a = \sqrt{3}R_1, \quad (1)$$

$$R_2 = \sqrt{a^2 - R_1^2}, \quad (2)$$

$$R_2 = \sqrt{(\sqrt{3}R_1)^2 - R_1^2} = \sqrt{2}R_1, \quad (3)$$

где a – ребро тетраэдра, R_1 – радиус первой орбиты, R_2 – радиус второй орбиты.

Так как 4 спутника должны образовывать тетраэдр, то длина ребра тетраэдра равна стороне правильного треугольника, вписанного в орбиту с радиусом R_1 , где находятся 3 спутника.

Во втором способе (рис. 3) все 4 спутника находятся на 2 орбитах с одинаковым радиусом. Основная идея заключается в том, что на каждой орбите находятся по 2 спутника, отстающие друг от друга на 109.47° по фазе. Обе орбиты являются ортогональными по отношению к друг другу. Система представляет собой правильный тетраэдр, вписанный в шар с радиусом, равным радиусу орбит.

При этом период формирования правильного тетраэдра будет равняться половине периода обращения спутника вокруг планеты. Это было

проверено расчетами и анализом графика зависимости объема четырехгранника от времени (рис. 4). Отношение периодов формирования тетраэдра первой и второй конфигурацией было равным:

$$T_1 = \sqrt[4]{8}T_2. \quad (4)$$

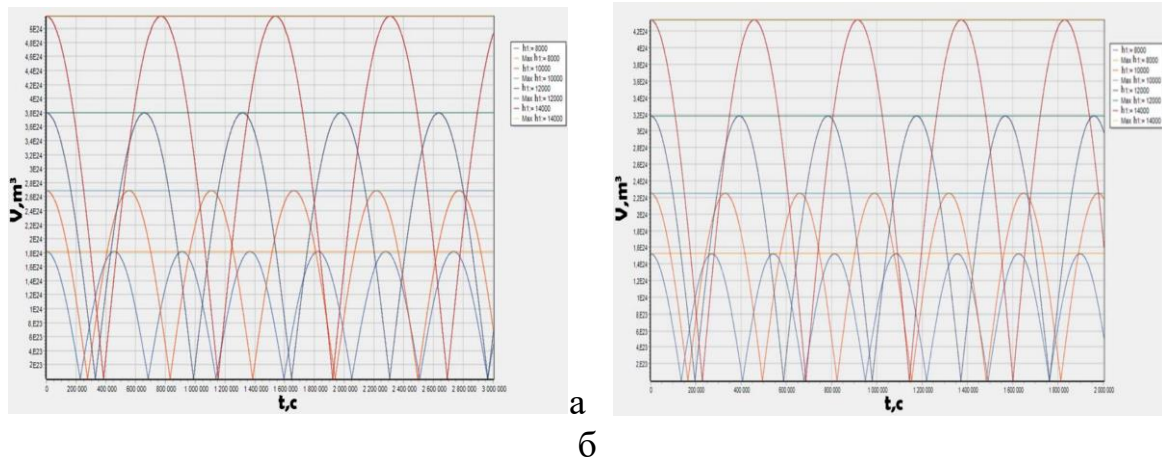


Рис. 4. Графики зависимости объема четырехгранника от времени для первой (а) и второй (б) конфигурации спутников при разных значениях радиуса орбиты

В отличие от наземного детектирования ГВ со стационарным положением системы источник – детектор для космического детектора необходимо предсказывать относительное положение спутников в системе, которая определяет возможности и характеристики измерительной системы. Разработанное программное обеспечение для расчета кинематических характеристик S-LIGO позволяет конструировать и исследовать многообразные спутниковые системы. В данной работе представлены результаты исследований конфигурации систем спутников S-LIGO-N4R-Z2, состоящей из 4 спутников на 2 ортогональных орбитах в 2 состояниях:

- 2 орбиты, 3 и 1 спутник на первой R_1 и второй R_2 орбите соответственно, таким образом, что $R_2 = \sqrt{2}R_1$
- 2 орбиты, по 2 спутника на каждой орбите.

Библиографические ссылки

1. Abbot, B.P.// Exploring the sensitivity of next generation gravitational wave detectors / B. P. Abbott [et al.] // Class. Quantum Grav.2017.
2. Abbot B.P., Abbot R., Abbot T.D.// Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger Phys. Rev. Let.2016.
3. Weber J.//Gravitational-wave-detector events. Physical Review Letters.1968.
4. LIGO NEWS: LIGO Suspends Third Observing Run [Электронный ресурс] URL:<https://www.ligo.caltech.edu/news/ligo20200326>. (дата обращения: 12.05.2021).