

вооружение : сб. науч.-техн. ст. ГКБ «Южное». – 2014. – № 1. – С. 14–20.

7. Межконтинентальные баллистические ракеты семейства Atlas [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [rufor.org.showthread.php?t=19570](http://rufor.org/showthread.php?t=19570).

8. Митиков Ю. А. Пути повышения надежности и безопасности эксплуатации ракетных комплексов / Ю. А. Митиков, В. А. Антонов, М. Л. Волошин, А. И. Логвиненко // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – № 3 (90). – С. 30–36.

9. Митиков Ю. А. Газобаллонные системы наддува и ракеты-носители нового поколения / Ю. А. Митиков // Космическая техника. Ракетное вооружение : сб. науч.-техн. ст. ГКБ «Южное». – 2012. – № 1. – С. 179–185.

10. Ракетные системы РВСН. От Р-1 – к Тополю-М. 1946 – 2006 гг. // Сборник материалов о развитии ракетного оружия в СССР и РФ / Сост. Г. И. Смирнов. – Смоленск, 2006. – 446 с.

11. Системы наддува баков РН // Новости космонавтики [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [novosti-kosmonavtiki.ru/forum/forum13/topic13794](http://novosti-kosmonavtiki.ru/forum/forum13/topic13794).

12. Уманский С. П. Ракеты-носители. Космодромы / С. П. Уманский. – М. : Рестарт+, 2001. – 216 с.

13. Челомей В. Н. Пневмогидравлические системы двигательных установок с жидкостными ракетными двигателями / В. Н. Челомей, Д. А. Полухин, Н. Н. Миркин и др. – М. : Машиностроение, 1978. – 238 с.

*Надійшла до редколегії 30.06.2017*

УДК 629.78

**М. П. Олейник, А. М. Кулабухов**

*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара*

## **АЛГОРИТМ ОРГАНИЗАЦИИ МЕЖСПУТНИКОВОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ МЕЖДУ НИЗКООРБИТАЛЬНЫМИ СПУТНИКАМИ ДЗЗ**

Предложен алгоритм организации МОЛС для низкоорбитальных спутников ДЗЗ. Преимуществом данного алгоритма является то, что на этапе поиска и захвата лазерного излучения не используются дополнительные источники радионизлучения в качестве обратной связи.

*Ключевые слова:* межспутниковая оптическая связь, информационная сеть, расходимость оптического излучения.

Запропоновано алгоритм організації МОЛЗ для низькоорбітальних супутників ДЗЗ. Перевагою даного алгоритму є те, що на етапі пошуку і захоплення лазерного випромінювання не використовуються додаткові джерела радіовипромінювання в якості зворотного зв'язку.

*Ключові слова:* міжсупутниковий оптичний зв'язок, інформаційна мережа, розбіжність оптичного випромінювання.

The algorithm of organization optical inter-satellite communication for low-Earth orbiting RS satellites was offered. The advantage of this approach is that in step Acquisition and pointing is not used radio sources as feedback.

*Keywords:* inter-satellite optical communication, information network, optical radiation divergence.

**Введение.** Ограниченное время связи спутника ДЗЗ с наземной станцией, низкая скорость передачи данных и ограниченный объем бортовой памяти приводят к неэффективному использованию возможностей спутников ДЗЗ. Кроме этого, в настоящее время для направлений обнаружения чрезвычайных ситуаций, военной разведки, мониторинга транспорта все более высокие требования предъявляются к оперативности получения снимков ДЗЗ. Один из способов решения этой проблемы можно обеспечить за счет объединения спутников ДЗЗ в информационную сеть. Предлагается организовать спутниковую сеть за счет использования межспутниковых оптических линий связи (МОЛС). Преимуществами такого подхода являются – высокая скорость передачи (до десятков Гбит/с), высокая помехоустойчивость и отсутствие необходимости лицензирования частотного диапазона. Однако из-за использования сверхзукного оптического луча проблемными вопросами при реализации МОЛС остаются вопросы поиска, захвата и сопровождения оптических лучей с прецизионной точностью [1].

**Постановка задачи.** Основной задачей данной работы является разработка алгоритма организации МОЛС для низкоорбитальных спутников ДЗЗ. Предполагается, что группировка спутников ДЗЗ образует информационную сеть в пределах одной круговой орбиты таким образом, что соседние спутники поддерживают связь в оптическом диапазоне, а связь спутника с наземной станцией (НС) проходит по радиоканалу, обеспечивая направленную связь вне зависимости от погодных условий (рис. 1).

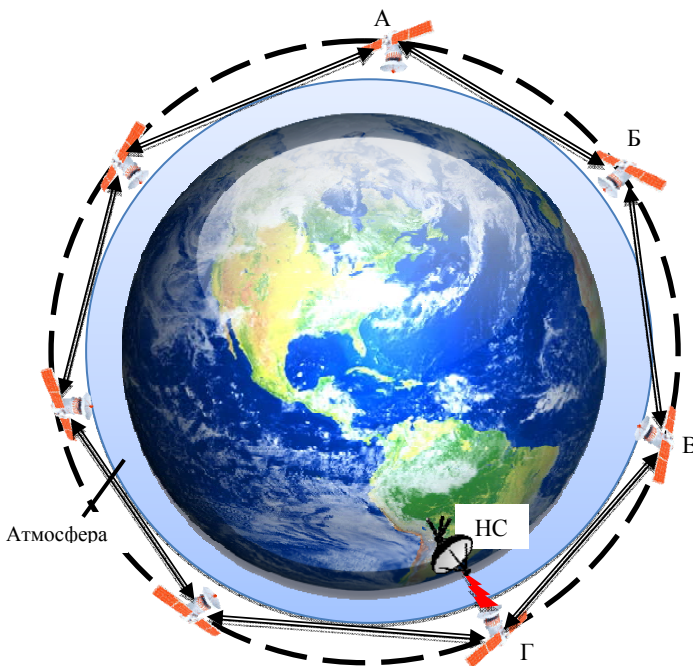


Рис. 1. Информационная сеть спутников ДЗЗ

Это дает возможность НС получить информацию оперативно с любого спутника ДЗЗ через спутник, который находится в зоне видимости НС. Количество спутников на орбите выбрано из условия прохождения оптического луча за пределами атмосферы (табл. 1) [2]. Как показали расчеты, расстояние между соседними спутниками не превышает 7 тыс. км. Спутники ДЗЗ ориентированы на Землю. Предполагается, что организация канала МОЛС должна происходить без дополнительных каналов связи радиодиапазона.

Таблица 1

Количество спутников на орбите

| Высота орбиты, км | Количество спутников | Расстояние между спутниками, км |
|-------------------|----------------------|---------------------------------|
| 600               | 9                    | 4770                            |
| 700               | 8                    | 5420                            |
| 800               | 7                    | 6230                            |

**Решение задачи.** Для организации оптической связи между двумя спутниками необходимо совершить процедуру поиска и захвата оптических лучей терминалами МОЛС. Терминалы имеют в своем составе источники лазерного излучения, фотодетекторы, опорно-поворотные устройства, кодеры и декодеры для управления информационными потоками [3]. Структурная схема терминала МОЛС представлена на рис. 2.

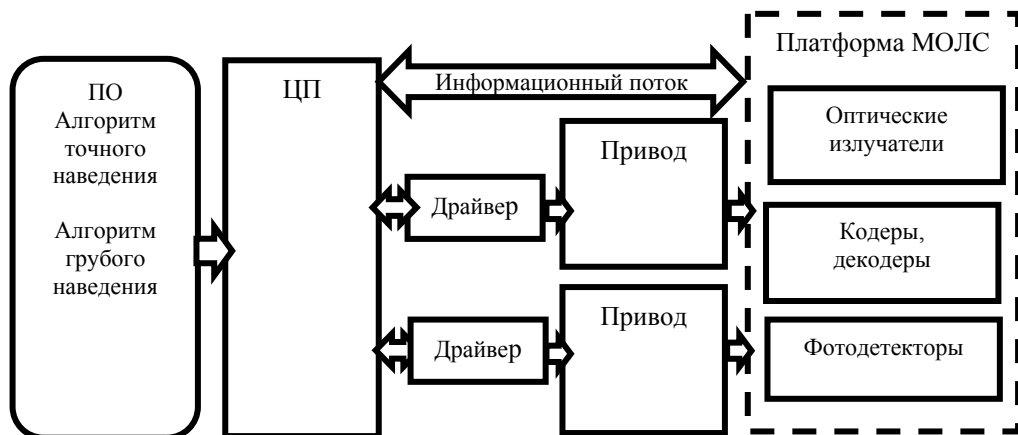


Рис 2. Структурная схема терминала МОЛС

Центральный процессор (ЦП) через драйверы и двухкоординатные приводы обеспечивает прецизионный угловой поворот платформы МОЛС, на которой установлены оптические приемо-передающие устройства (оптические излучатели, кодеры, декодеры, фотодетекторы), обеспечивающие прием и передачу информации в ЦП.

Для решения задачи наведения и захвата оптических лучей предполагается использование дополнительных лазерных источников – маяков, излучающих на другой длине волны с широкой диаграммой направленности. Кроме этого, терминал МОЛС имеет блок фотодетекторов, который состоит из фотодетекторов поиска, захвата и слежения.

Опорно-поворотные устройства могут быть реализованы с помощью пьезодвигателей и их драйверов, которые имеют высокое быстродействие, малый шаг перемещения.

Рассмотрим спутники А и Б, между которыми необходимо установить оптическую связь, их координаты  $x_A, y_A, z_A$  и  $x_B, y_B, z_B$  могут быть определены аппаратурой спутниковой навигации с некоторыми погрешностями в фиксированный момент времени.

Они зависят от погрешностей определения координат спутников А и Б, от используемых систем ориентации и стабилизации спутников, от качества датчиков, от системы управления местоположением и возмущающих факторов окружающей среды. Как показано на рис. 3, исходя из крайних положений спутника передатчика в зоне его неопределенности, можно видеть, что неопределенность положения спутника приемника  $\phi$  увеличивается в 2 раза.

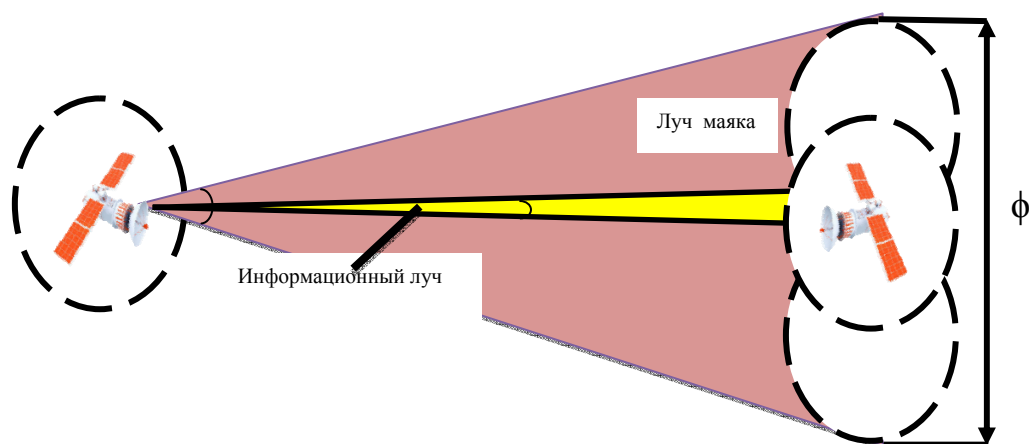


Рис. 3. Выбор параметров излучения маяка

Необходимым условием принятия сигнала спутника А на фотодетекторе спутника Б является требование, чтобы угол расходимости оптического луча  $\alpha$  был больше, чем зона неопределённости положения спутника  $\phi$ :

$$\alpha > \phi. \quad (1)$$

Угол расходимости оптического луча  $\alpha$  зависит от длины волны  $\lambda$  и диаметра зеркала антенны  $d$  и определяется по формуле:

$$\alpha = 1,22 \frac{\lambda}{d}. \quad (2)$$

Для выполнения этого условия в качестве лазерного излучения используется дополнительный расширенный источник – маяк. Он должен покрывать всю зону неопределенности и попасть на спутник получатель.

Найдем требования к расходимости оптического луча маяка для низкоорбитальных спутников ДЗЗ, находящихся на расстоянии 7 тыс. км.

Положение спутника в момент времени  $t$  может быть рассчитано по данным TLE файла с точностью 100 м. Зона неопределенности положения спутника приемника будет в 2 раза больше – 200 м.

Таким образом, можно сделать вывод, что угол неопределенности положения спутника равен 6 угловых секунд. И требованием к маяку передающего спутника является обеспечение расходимости лазерного излучения более 6 угловых секунд.

Предлагается следующий алгоритм организации МОЛС (рис. 4).

Процесс организации оптической связи между двумя спутниками начинается с планирования сеанса связи, получения TLE файла, расчета линии визирования и управляющих сигналов.

Для поиска и захвата спутника Б спутник А должен включить сигнал маяка, т. к. ширина луча маяка должна быть больше, чем зона неопределенности положения спутника Б, то фотодетектор спутника Б принимает сигнал маяка спутника А и включает свой лазер маяка в направлении спутника А.

Спутник А принимает сигнал маяка спутника Б, таким образом устанавливается связь по маякам между спутниками А и Б.

В случае, если фотодетектор не принял сигнал маяка в указанное время, то спутники возвращаются к этапу планирования связи.

Предполагается, что информационный поток должен обеспечиваться с высокой скоростью, а, следовательно, с узкой диаграммой направленности.

Следующий этап заключается в установлении связи по информационным лазерам.

Перед тем как установить связь, необходимо повысить точность наведение информационного лазера.

Как только сигнал информационного луча получен спутником Б, он должен по каналу маяка передать эту информацию спутнику А.

После установления связи по информационным лучам начинается передача данных. Предполагается, что в данной информационной системе связь между соседними спутниками ДЗЗ будет поддерживаться постоянно, таким образом, при потере информационного сигнала начинается повторная процедура поиска и захвата.

## Выводы

1. Предложен способ организации МОЛС между группировкой низкоорбитальных спутников ДЗЗ, объединяющий их в информационную сеть, что позволяет оперативно получать данные с любого спутника ДЗЗ через спутник, находящийся в зоне видимости наземной станции.

2. Разработан алгоритм организации МОЛС для низкоорбитальных спутников ДЗЗ, в котором для организации связи используется два лазерных источника – лазер маяка и лазер информационного сигнала.

3. Определены требования к оптическим сигналам для спутников, находящихся на орбитах 600–800 км.

4. Преимуществом данного подхода является то, что для организации оптической связи не используются дополнительные радиоканалы в качестве обратной связи.

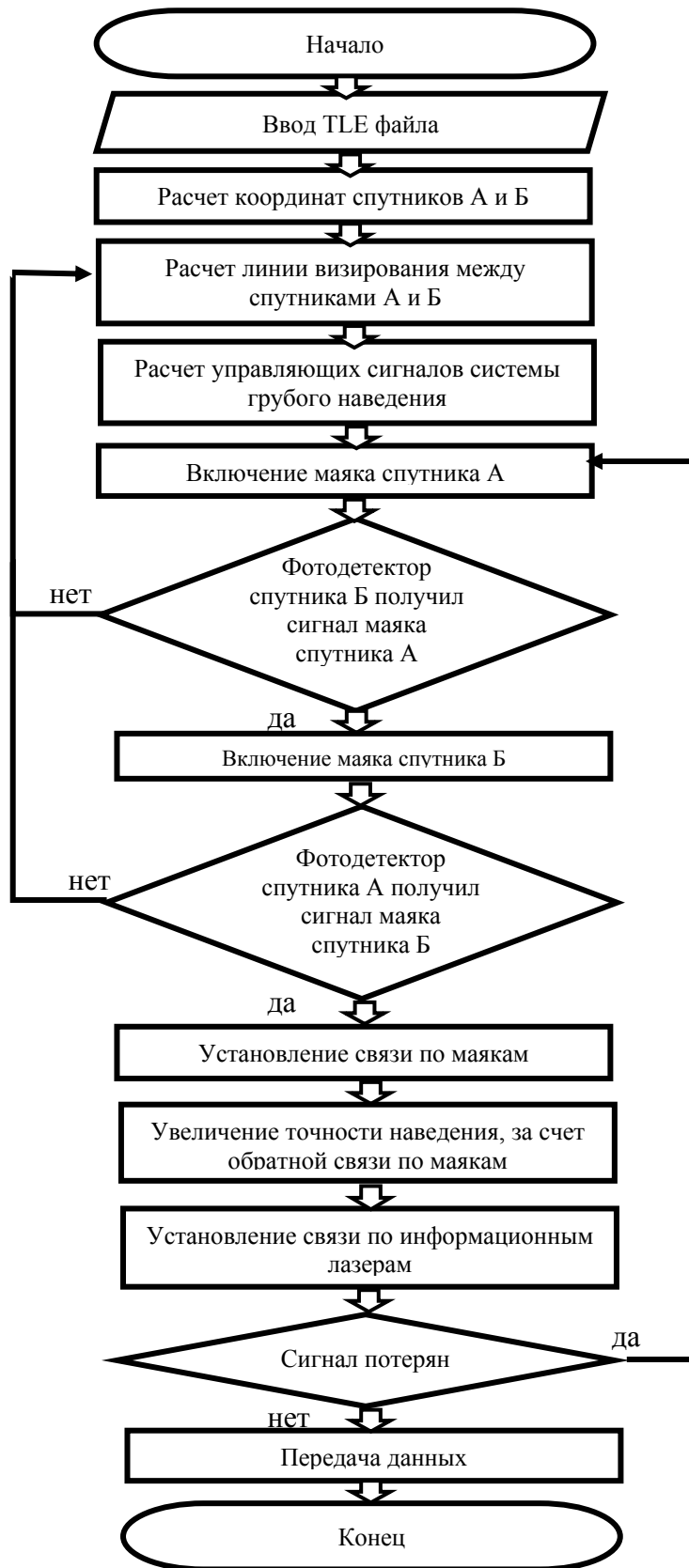


Рис. 4. Алгоритм организации межспутниковой оптической связи

## Библиографические ссылки

1. Гавриленко С. В. Особенности современного этапа развития оптических линий межспутниковой связи / С. В. Гавриленко, Н. Н. Феоктистов, Д. К. Хегай // Приборостроение. – 2008. – Т. 51, № 3. – С. 54–60.
2. Олейник М. П. Оценка требований к угловой ориентации межспутниковых оптических линий связи по навигационным параметрам / М. П. Олейник, А. М. Кулабухов // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Сер. : Ракетно-космічна техніка. – 2016. – Т. 24, № 4. – С. 102–107.
3. Лазерная космическая связь / под ред. М. Кацмана. – М. : Радио и связь, 1993. – 240 с.

*Надійшла до редколегії 20.06.2017*

УДК 537.52, 629.78

А. Н. Петренко, В. П. Малайчук

*Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара*

## АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Рассмотрены алгоритмы автоматического контроля текущих параметров электрических ракетных двигательных установок. Определены информативные признаки подсистем ЭРДУ и характер их изменения в процессе работы двигательной установки. Представлены алгоритмы обнаружения скачкообразных изменений информативных признаков при различном объеме априорной информации.

**Ключевые слова:** электрическая ракетная двигательная установка, холловский двигатель, измерение параметров, автоматический контроль, алгоритмы контроля.

Розглянуто алгоритми автоматичного контролю поточних параметрів електричних ракетних двигунних установок. Визначено інформативні ознаки підсистем ЕРДУ і характер їх змін у процесі роботи двигунної установки. Представлено алгоритми виявлення ступеневих змін інформативних ознак при різному обсязі априорної інформації.

**Ключові слова:** електрична ракетна двигунна установка, холловський двигун, вимірювання параметрів, автоматичний контроль, алгоритми контролю.

Algorithms of the parameters automatic control of the electric propulsion engine unit are described. The informative features of the subsystems of the Electric Propulsion Engine Units and the nature of their changes in the process of operation of the propulsion system are determined. The algorithms for detecting jump-like changes in informative features for different volumes of apriority information are presented.

**Keywords:** electric propulsion engine unit, Hall Thruster, measurements of the parameters, automatic control, algorithms of control.

Электрические ракетные двигательные установки (ЭРДУ) находят все более широкое применение при реализации различных космических программ. Основным преимуществом применения ЭРДУ является значительное снижение массы рабочего вещества по сравнению с химическими двигателями малой тяги.

---

© А. Н. Петренко, В. П. Малайчук, 2017