

О ПРИМЕНЕНИИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ДЛЯ РЕТРАНСЛЯЦИИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ РАЗГОННОГО БЛОКА

Д.Ю. ПОЛЕНОВ, *асп. ОАО «НПО Измерительной техники»*,

А.П. МОРОЗ, *зам. ген. директора ОАО «НПО Измерительной техники», доц., д-р техн. наук*

polenov_d@mail.ru.

ОАО «НПО Измерительной техники», 141070, Московская обл., г. Королев, ул. Пионерская, д. 2

Проанализированы схема полета ракеты-носителя (РН) «Протон-М» с разгонным блоком (РБ) «Бриз-М» на примере выведения КА «Sirius-6М», размещение существующих наземных измерительных пунктов (НИП) и их приемо-регистрирующие средства, а также возможности решения задач информационно-телеметрического обеспечения запусков космических аппаратов (КА). Рассмотрена трасса полета РН и используемые для регистрации информации наземные приемные станции, оснащенные высокоэффективными антеннами «Жемчуг» и «Изумруд», используемые для работы с РН, и ТНА-57У и Б 529 для работы с РБ, обеспечивающими большую дальность действия радиолинии. Проведен анализ отечественных систем ретрансляции радиосигналов с использованием КА. Дана краткая информация по обеспечению радиосвязи с космическими летящими аппаратами во времена СССР, эволюция систем ретрансляции информации. Приведен состав современной многофункциональной космической системы ретрансляции «Луч». Предложен способ обеспечения получения телеметрической информации (ТМИ) с борта РН и РБ в реальном времени вне зон радиовидимости (ЗР) с применением БПЛА в качестве ретранслятора ТМИ. Получено оптимальное расположение БПЛА для решения поставленной задачи. Определены значения ЗР для различных участков полета РН и РБ, и представлена зависимость ЗР БПЛА от высоты полета РН и РБ. В качестве используемых БПЛА рассмотрены существующие и перспективные иностранные – производства КНР и США – воздушные суда, даны их характеристики, на основе которых сделаны выводы о возможности их применения при решении вопроса о получении информации.

Ключевые слова: телеметрическая информация, разгонный блок, многофункциональная космическая система ретрансляции, беспилотный летательный аппарат, зона радиовидимости.

В СССР обеспечение радиосвязи с космическими объектами (прежде всего, пилотируемыми аппаратами) вне зон радиовидимости с территории своей страны осуществлялось с помощью радиосредств, размещенных на кораблях космической флотилии. В назначенное время они приходили в соответствующее место мирового океана. Были также начаты работы по созданию системы ретрансляции информации через ИСЗ. Первым конструктивным шагом по организации подобной системы явилась разработка платформы КАУР-4, стартовавшей в 1976 г. Первоначально на этой платформе были построены геостационарные спутники системы «Гейзер» (система ретрансляции «Поток» (СР «Поток»)) и системы «Альтаир» (СР «Луч»), которые, в основном, предназначались для глобальной космической командно-ретрансляционной системы (ГККРС). Задачей системы «Поток» была оперативная ретрансляция больших объемов цифровой информации с КА на наземный пункт приема в реальном времени. Позже система «Поток» получила название «Сокол».

Более поздняя система «Альтаир» позволяла устанавливать двустороннюю широкополосную связь с подвижными космическими, морскими или же наземными объектами, в том числе с долговременными орбитальными станциями и космическими кораблями нового поколения (станция «Мир», космический корабль «Буран»). Кроме того, СР «Луч» предназначалась для обмена телевизионной информацией между телецентрами, проведения телемостов, телеконференций, репортажей, ретрансляции информации и организации связи в чрезвычайных условиях и в труднодоступных районах.

На смену первому поколению СР «Луч» пришла многофункциональная космическая система ретрансляции «Луч» (МСКР «Луч»). Полная группировка МСКР «Луч» должна содержать три спутника; пока в группировке два аппарата: «Луч-5А» и «Луч-5Б».

Предполагается, что КА-ретрансляторы системы МСКР «Луч» будут работать с низколетящими спутниками с высотой орбит до 2000 км над поверхностью Земли, такими как космические аппараты (КА) и пилотиру-

емые космические комплексы, а также ракеты-носители (РН), разгонные блоки (РБ) и др. КА «Луч» будут принимать от них информацию (как телеметрическую, так и целевую) на участках полета, находящихся вне зон видимости с территории России, и ретранслировать ее в реальном времени на российские наземные приемные станции. В то же время будет обеспечена возможность передачи команд управления на эти КА.

В настоящее время Россия не имеет возможности решать задачи обеспечения радиосвязи вне зон видимости с территории России с применением кораблей космической флотилии, а существующая МКСР не в полной мере обеспечивает растущие практические требования. В связи с этим предлагается рассмотреть актуальную задачу организации системы ретрансляции телеметрической информации (ТМИ) с РН и РБ с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Вопросы решения задачи ретрансляции ТМИ с РН и РБ рассмотрим применительно к полету РН «Протон-М» с РБ «Бриз-М». Прием ТМИ с борта РН и РБ обеспечивают порядка десяти наземных измерительных пунктов (НИП). Все они располагаются на территории РФ, а также Казахстана. При работе с РН используются наземные приемные станции, оснащенные высокоэффективными антеннами «Жемчуг» и «Изумруд», с РБ – ТНА-57У и Б-529, обеспечивающими большую дальность действия радиолинии. Проекция полета РН над Землей на участке выведения занимает порядка 800 км. На протяжении этого участка прием ТМИ с РН обеспечивают НИПы Байконура. Далее, после отделения головной части орбитального блока (ОБ), в работу по приему ТМИ вступают трассовые НИПы.

Весь процесс от пуска РН до момента выведения КА на заданную орбиту занимает порядка восьми – десяти часов. За это время РБ с КА совершают несколько витков вокруг Земли. Для того чтобы РБ вывел КА на заданную орбиту, маршевые двигатели (МД) РБ совершает до пяти включений. Рассмотрим более подробно схему полета РН «Протон-М»

и РБ «Бриз-М» на примере выведения КА «Sirius FM-6» на целевую орбиту ($H_n = 4126$ км, $H_a = 35786$ км), запуск которого состоялся 25.10.2013 г. с космодрома Байконур. Схема полета соответствует рис. 1.

Прием ТМИ на участке выведения осуществляют непосредственно НИПы, расположенные на космодроме Байконур и на территории РФ в городах Иркутск, Барнаул, Улан-Удэ и др., что показано на рис. 2.

Обеспечить в реальном времени прием ТМИ наземными средствами НИПов при полете РБ не удастся. Это связано с географическим положением НИПов. Телеметрическая система (ТС) Пирит-РБс, устанавливаемая на РБ, на участках вне зоны радиовидимости НИПов ТМИ не передает, запоминая ее. При вхождении ОБ в зону радиовидимости (ЗР) информация, сохраненная в запоминающем устройстве (участки третьего и четвертого включений ДУ РБ), передается на Землю.

Для устранения указанного недостатка вводится в эксплуатацию МКСР «Луч». Одной из задач создаваемой системы является прием информации с космических и наземных объектов на участках, находящихся вне зон радиовидимости с территории РФ, и передача ее на российские пункты приема информации в режиме реального времени. Реализация данной системы позволит повысить оперативность управления низкоорбитальными космическими аппаратами, доставки целевой информации, приема телеметрии. На спутниках установлена аппаратура для приема и передачи информации в S- и Ku-диапазонах частот. В то же время, несущая частота передатчика телеметрической аппаратуры «Пирит-РБс» соответствует L-диапазону (дециметровые волны). Кроме того, при использовании узконаправленной передающей антенны на РН и РБ высока вероятность потери ТМИ при возникновении аварийной ситуации, вызывающей резкие изменения ориентации объекта. В связи с этим необходимо сопряжение МКСР «Луч» и телеметрической аппаратуры РБ. Для решения данной задачи предлагается использовать промежуточ-

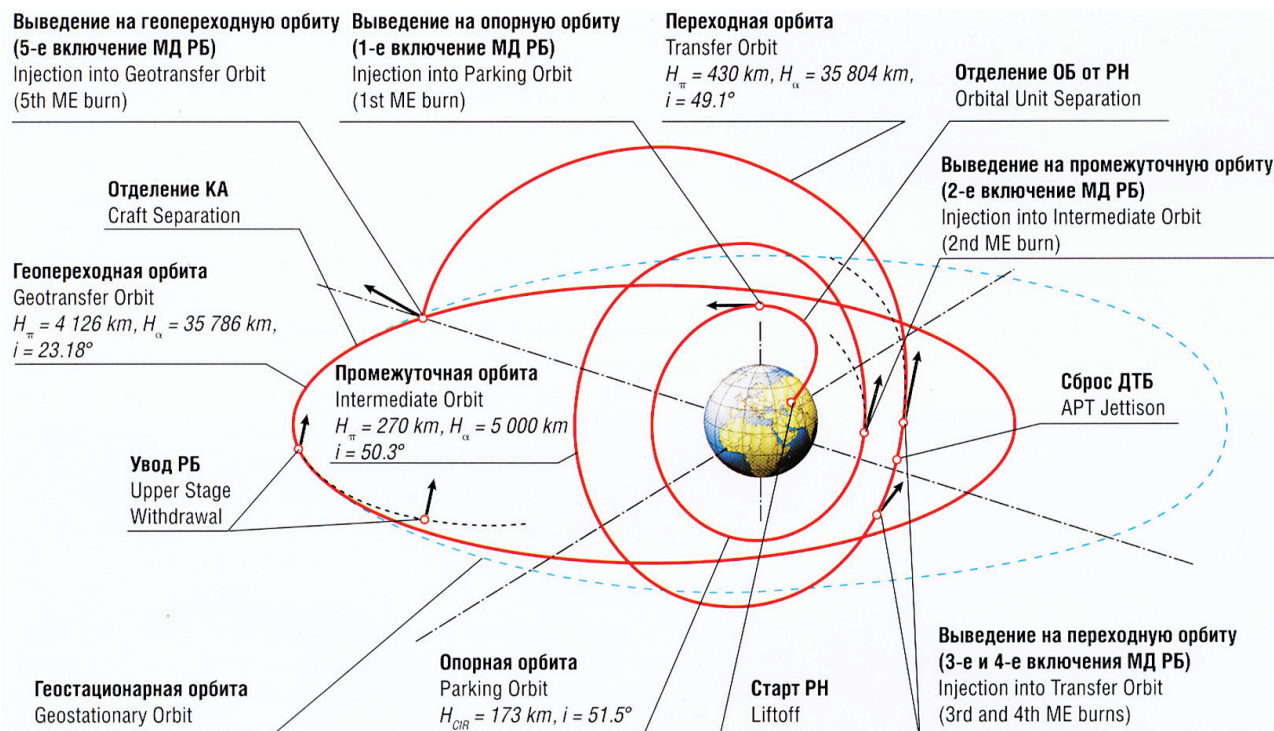


Рис. 1. Схема полета РН «Протон-М» с РБ «Бриз-М» при выведении КА «Sirius FM6» на целевую орбиту

Fig. 1. The scheme of CR “Proton-M” flight with TOS “Breeze-M” while taking spacecraft «Sirius FM6» to the target orbit

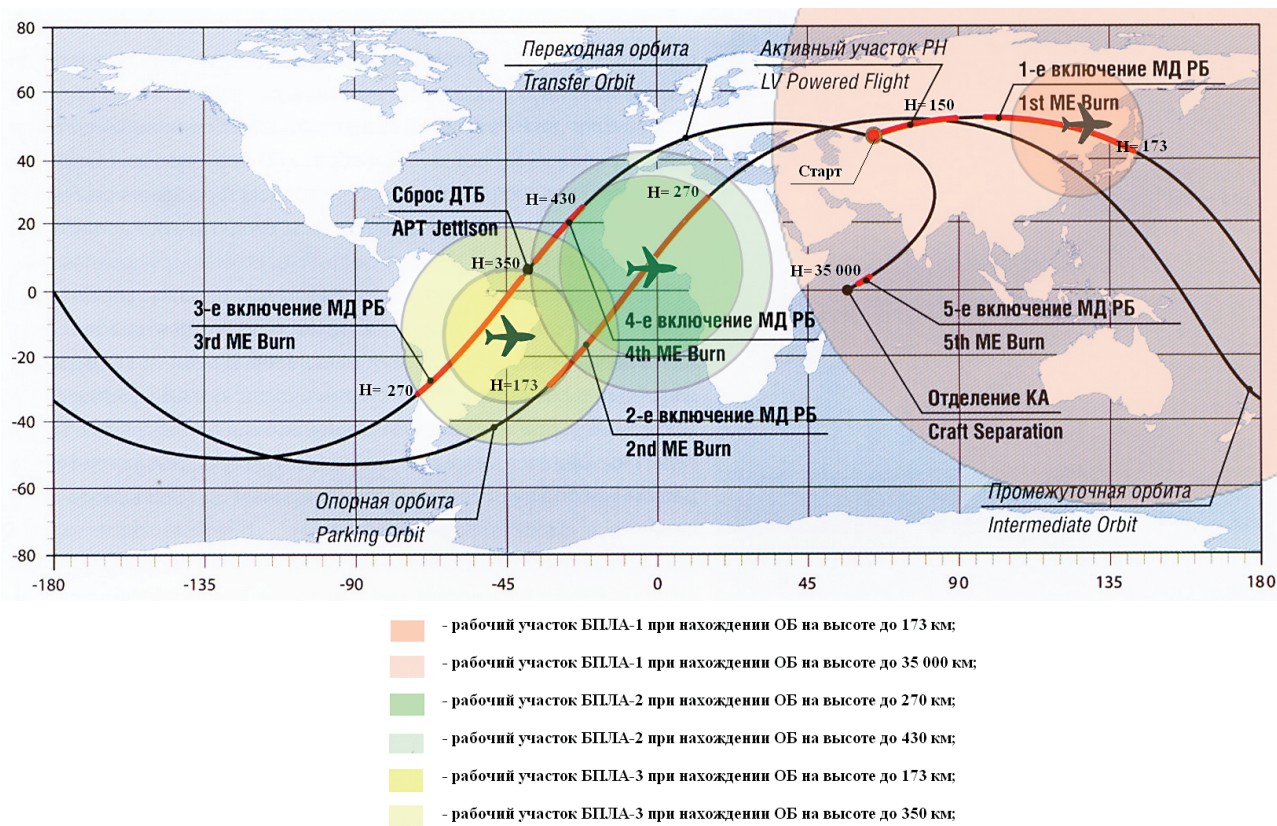


Рис. 2. Трасса полета изделия в цилиндрической проекции карты Земли
Fig. 2. The route of the flight of an object at a cylindrical projection map of Earth

ное звено между МКСП и РН (РБ), а именно БПЛА, который будет выступать, в сущности, ретранслятором. На БПЛА предлагается установить приемник ТМИ с РБ и передатчик для ретрансляции принятых данных на МКСП «Луч».

При анализе схемы выведения КА «Sirius-6М» предлагается рассмотреть три возможных варианта расположения приемопередающего БПЛА.

1. Использовать один БПЛА – в районе г. Якутска (в конце активного участка движения РН – рис. 2).

2. Использовать два БПЛА – один в районе г. Якутска, второй – над Атлантическим океаном, в районе экватора, недалеко от точки сброса дополнительных топливных баков (ДТБ).

3. Использовать три БПЛА – один в районе г. Якутска, второй – над Марокко, (конец четвертого включения МД РБ), третий – над Бразилией.

В качестве высоты крейсерского полета БПЛА примем 18 км.

При первом варианте расположении БПЛА (один – в районе г. Якутска) получится следующий охват территории по приему ТМИ:

$$S = \sqrt{((R+h)^2 - R^2)}, \quad (1)$$

где S – радиус зоны радиоприема,

R – радиус Земли ($R = 6371$ км),

h – высота объекта над уровнем моря.

$$S = \sqrt{((6371+18)^2 - 6371^2)}. \quad (2)$$

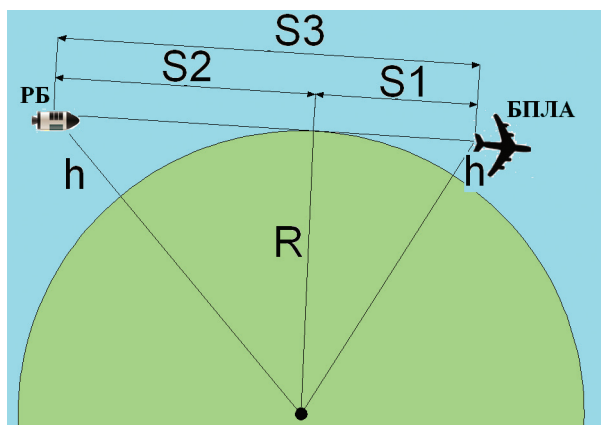


Рис. 3. Зависимость ЗР БПЛА от высоты РБ над Землей

Fig. 3. The dependence of the UFV RVZ on the height of TOS above the Earth

С учетом того, что при первом включении МД РБ он находится на высоте 173 км, в соответствии с выражением (1) получаем значение радиуса S_2 зоны радиоприема на уровне поверхности Земли

$$S_2 \approx 1550 \text{ км}. \quad (3)$$

Отсюда получаем максимальное значение длины S_3 радиолинии уверенного приема ТМИ с РБ на БПЛА

$$S_3 = S_1 + S_2 \approx 2130 \text{ км}. \quad (4)$$

Второе, третье и четвертое включения МД РБ, очевидно, будет происходить вне зоны видимости БПЛА. В соответствии с выражением (1) получаем значения радиуса S_2 зоны радиоприема на уровне поверхности Земли для пятого включения МД, а также при отделении КА

$$S_2 \approx 8000 \text{ км (для пятого включения),} \\ \text{соответственно } S_3 \approx 8500 \text{ км}. \quad (5)$$

Из параметров геопереходной орбиты следует, что БПЛА сможет принять ТМИ при отделении КА от РБ.

Таким образом, для первого варианта прием в реальном времени полного объема ТМИ на активном участке полета РН, при отделении ОБ от РН, при первом и пятом включении МД РБ, а также при отделении ОБ невозможно обеспечить лишь с помощью НИПов и одного БПЛА, работающих в комплексе.

Рассмотрим второй вариант.

Параметры ЗР активного участка полета РН, первое и пятое включения МД РБ, а также отделение КА останутся без изменения. Определим ЗР для участков второго, третьего и четвертого включений МД РБ в соответствии с выражением (1). Учитывая, что третье включение МД происходит на высоте 270 км, определим значение ЗР

$$S_1 \approx 500 \text{ км}, \quad (6)$$

$$S_2 \approx 1900 \text{ км}, \quad (7)$$

$$S_3 \approx 2400 \text{ км}. \quad (8)$$

Но для обеспечения радиосвязи между РБ и БПЛА для участков второго, третьего и четвертого включений МД РБ необходимо, чтобы максимальное значение S_3 было не менее 4000 км (рис. 2), следовательно, данный вариант расположения БПЛА также является неудовлетворительным.

Обратимся к третьему варианту.

Расположение БПЛА-1 остается без изменений. Расположение БПЛА-2 – над Марокко, выбрано для обеспечения получения информации на конечном участке работы МД РБ при втором и четвертом включениях; расположение БПЛА-3 – для обеспечения получения информации о начале второго и всем участке работы МБ РБ после его третьего включения.

Расчеты ЗР БПЛА-2 показывают, что для второго включения $S_2 = 2400$ км; для четвертого включения $S_4 = 2900$ км. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что третий вариант размещения БПЛА удовлетворяет требованиям обеспечения приема полного объема ТМИ на участках работы МД РБ для второго и четвертого включений.

Рассчитаем ЗР БПЛА-3 – для начала второго включения: $S_2 = 2000$ км; для четвертого включения: $S_4 = 2600$ км. Полученные результаты удовлетворяют требованиям по приему ТМИ в ЗР.

Таким образом, третий вариант расположения БПЛА оказывается приемлемым. Зависимость ЗР БПЛА представлена на рис. 3.

Полученные результаты ЗР являются ориентировочными в связи с тем, что в расчетах не учитывались динамика высот, направлений и модулей скоростей относительного движения РБ и БПЛА.

В настоящее время мировыми лидерами в создании БПЛА являются США, Израиль и Япония. В России также начинают разворачиваться подобные работы.

В качестве БПЛА, способных выполнять функции ретрансляторов, предлагается рассмотреть аппараты, аналогичные разрабатываемому Китаем БПЛА «Xianlong» или БПЛА «RQ-4 Global Hawk», производства США. В частности, Xianlong при длине 14,3 м, высоте 5,4 м и размахе крыльев 25 м способен развивать скорость до 750 км/час и совершать полеты на расстояние до семи тысяч км. Взлетная масса БПЛА составляет 7,5 т, а грузоподъемность – 650 кг. Максимальная высота полета составляет 18,3 км. Для сравнения, БПЛА «RQ-4 Global Hawk»

при длине 13,5 м, высоте 4,62 м и размахе крыльев 35,4 м способен развивать скорость до 800 км/час и совершать полеты на расстояние до 24,9 тыс. км. Продолжительность нахождения аппарата в воздухе составляет 36 часов. Он способен совершать полеты на высоте до 19,8 км. Бортовое оборудование включает в себя системы ретрансляции сигналов и радиоэлектронной разведки.

Прием с РН и РБ всего потока ТМИ и ретрансляцию его через МКСП «Луч» необходимо обеспечить со скоростью 1–2 Мбит/с или большей.

Таким образом, предложенный способ позволит обеспечить прием ТМИ и ее ретрансляцию через ИСЗ на всех участках работы МД при полете РН и РБ.

Выводы

1. Проанализированы схема полета РН и РБ на примере РН «Протон-М» и РБ «Бриз-М», размещение существующих НИПов и их возможности решения задач информационно-телеметрического обеспечения запусков КА.

2. Проведен анализ старых и перспективных отечественных систем ретрансляции радиосигналов с использованием КА.

3. Предложен способ обеспечения получения ТМИ в реальном времени с борта РН и РБ вне ЗР с применением БПЛА в качестве ретранслятора ТМИ.

4. Определены значения ЗР БПЛА для различных участков полета РН и РБ и представлена зависимость ЗР БПЛА от высоты полета РН или РБ.

Библиографический список

1. Ганин, С.М. Беспилотные летательные аппараты / С.М. Ганин, А.В. Карпенко, В.В. Колногоров, Г.Ф. Петров. – Невский бастион, 1999. – 160 с.
2. Сомов, А.М. Спутниковые системы связи: Учебное пособие для вузов / А.М. Сомов, С.Ф. Корнев. – Серия Специальность, 2012. – 244 с.
3. Центр обработки и отображения полетной информации ГКНПЦ им. М.В. Хруничева – <http://coopi.khrunichev.ru/main.php?id=662>.
4. Космический Аппарат Унифицированного Ряда № 4 – <http://ru.wikipedia.org/wiki/КАУР-4>.
5. Луч – [http://ru.wikipedia.org/wiki/Луч_\(космический_аппарат\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Луч_(космический_аппарат)).

6. Мониторинг – <http://nov.docdat.com/docs/index-26949.html?page=3>.
7. Основы радиосвязи и телевидения. Учебное пособие для вузов / Г.В. Мамчев. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 416 с.
8. Скляр, Бернард. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, 2-е изд.: Пер. с англ. / Бернард Скляр – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
9. Харкевич, А.А. Основы радиотехники / А.А. Харкевич. – 3-е изд., стер. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 512 с.
10. Крухмалев, В.В. Цифровые системы передачи: Учебное пособие для вузов / В.В. Крухмалев, Гордиенко В.Н., Моченов А.Д. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 352 с.

ON THE APPLICATION OF AN UNMANED FLYING VEHICLE TO RELAY TELEMETRY INFORMATION OF A TRANSFER ORBIT STAGE

Polenov D.Y., gr. Scientific-Production Association of Measuring Equipment; **Moroz A.P.**, deputy director Scientific-Production Association of Measuring Equipment, Assoc., Dr. Sci. (Tech.)

polenov_d@mail.ru

Scientific-Production Association of Measuring Equipment, st. Pioneer, 2, Korolev, Moscow Region, 141070

The article analyzes the flight scheme of a carrier rocket (LV) «Proton-M» with transfer orbit stage (TOS) «Breeze-M» on the example of SC «Sirius-6M» injection, the placing of the existing ground tracking stations (GTS) and their receiving-recording possibilities, as well as the possibilities of solving the problems of information and telemetry launches of spacecraft (SC). The LV flight path and ground receiving stations used to record information are considered in the article. Such stations are equipped with highly efficient E-antennas «Pearl» and «Emerald», which are used in work with the LV, and TNA-57U and B 529 – which are used in work with the TOS. The latter provide longer radio range. The analysis of domestic radio relay systems which use satellites is performed. Brief information on the provision of radio communication with space flying machines during the Soviet era and the information on the evolution of relay information systems is also given. The composition of a modern multifunctional space relay system «Ray» is also shown. We propose a method to ensure that you receive telemetric information (TMI) from the board of the vehicle and transfer orbit stage in real time not only in radio visibility zones (RVZ) using the UFV as a TMI relay. The optimal location of UFV for the solution of the given task is obtained. The values of the RVZ for different parts of the flight of the vehicle and of the transfer orbit stage are calculated and the dependence of the RVZ UFV on the flight altitude of the vehicle and of the transfer orbit stage is presented. As used UFVs the existing and prospective foreign – made in China and in the United States – aircrafts are considered; its characteristics are given, based on which conclusions are made about the possibility of their use in solving the problem of getting information.

Keywords: telemetry information, transfer orbit stage, multifunctional space relay system, unmanned flying vehicle, zone of radio visibility.

References

1. Ganin S.M., Karpenko A.V., Kolnogorov V.V., Petrov G.F. *Bespilotnye le-tatel'nye apparaty* [Unmanned aerial vehicles], Nevsky Bastion, 1999. 160 p.
2. Somov A.M., Kornev S.F. *Sputnikovye sistemy svyazi* [Satellite communication systems]. Seriya Spetsial'nost' [A series of special], 2012. 244 p.
3. *Tsentri obrabotki i otobrazheniya poletnoy informatsii GKNPTs im. M.V. Khrunicheva* [Center for processing and displaying flight information M.V. Khrunichev]. <http://coopi.khrunichev.ru/main.php?id=662>.
4. *Kosmicheskii Apparat Unifitsirovannogo Ryada № 4* [Spacecraft unified series number 4]. <http://ru.wikipedia.org/wiki/KAUR-4>.
5. *Luch* [Ray]. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Луч_\(космический_аппарат\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/Луч_(космический_аппарат)).
6. Monitoring. <http://nov.docdat.com/docs/index-26949.html?page=3>.
7. Mamchev G.V. *Osnovy radiosvyazi i televideniya* [Fundamentals of radio and television]. Moscow: Hotline Telecom, 2007. – 416 p.
8. Sklyar Bernard *Tsifrovaya svyaz'. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primeneniye* [Digital communications. Theoretical bases and practical application]. Moscow: Publishing House “Williams”, 2003. 1104 p.
9. Kharkevich A.A. *Osnovy radiotekhniki* [Fundamentals of Radio Engineering]. Moscow: FIZMATLIT, 2007. 512 p.
10. V.V. Krukhmalev, Gordienko V.N., Mochenov A.D. *Tsifrovye sistemy peredachi* [Digital transmission systems]. Moscow: Hotline-Telecom, 2007. 352 p.