

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СУТОЧНЫХ ЭВОЛЮЦИЙ
ОРБИТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ПРОСТРАНСТВЕННО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ
СЕТИ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ СПУТНИКОВЫХ РЕТРАНСЛЯТОРОВ
НА ТОЧНОСТЬ ГЕОЛОКАЦИИ НАЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ
НЕПРЕДНАМЕРЕННЫХ ПОМЕХ СИСТЕМАМ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ
ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ**

**RESEARCH OF THE INFLUENCE OF DIURNAL EVOLUTIONS
OF THE ORBITAL STRUCTURE OF A SPATIALLY DISTRIBUTED NETWORK
OF GEOSTATIONARY SATELLITE REPEATERS ON THE ACCURACY
OF THE GEOLOCATION OF GROUND SOURCES OF UNINTENTIONAL
INTERFERENCE TO SATELLITE COMMUNICATION SYSTEM
WHEN SOLVING PROBLEMS OF ELECTRONIC COMPATIBILITY**

*Канд. техн. наук И.Н. Сиротин, канд. техн. наук В.В. Вознюк,
А.С. Сунгуров, канд. техн. наук С.А. Зайцев*

Ph.D. I.N. Sirotin, Ph.D. V.V. Voznuk, A.S. Sungurov, Ph.D. S.A. Zaicev

ВКА им. А.Ф. Можайского

Приведены результаты исследования влияния суточных эволюций группировки спутниковых ретрансляторов на точность определения местоположения источников непреднамеренных помех (ИНП) системам спутниковой связи при применении модифицированного разностно-дальномерного метода.

По результатам имитационного моделирования установлено, что зависимость средней ошибки определения местоположения ИНП от изменений местоположений спутниковых ретрансляторов (СР) в течение суточного цикла их движения имеет экстремумы. Для определения причин возникновения таких экстремумов проведены исследования влияния различных геометрических факторов на точность определения местоположения ИНП.

Ключевые слова: источник непреднамеренных помех, радиомониторинг, спутниковый ретранслятор, геостационарная орбита.

The results of a study of the influence of daily evolutions of a constellation of satellite transponders on the accuracy of determining the location of unintended interference sources to satellite communication systems using a modified differential-range-finder method are carried out.

Based on the results of simulation modeling, it was found that the dependence of the average error in determining the location of interference sources on changes in the locations of satellite repeaters (SR) during the daily cycle of their movement has extremes. To determine the causes of such extremes, studies have been conducted on the influence of various geometric factors on the accuracy of determining the location of sources of unintended interference

Keywords: source of unintended interference, radio monitoring, satellite repeater, geostationary orbit.

Введение

Для оперативной передачи значительно возросших объемов информации требуется все большее количество различных систем и средств спутниковой связи (ССС). Количество космических аппаратов и наземных терминалов спутниковой связи постоянно возрастает, а частотные диапазоны, в которых работают различные ССС как правило близки и ограничены, что неизбежно приводит к проблемам в области их электромагнитной совместимости [1, 2, 3].

На рис. 1 приведен частный пример, который показывает, что наземная станция (НС) осуществляющая обмен информацией через спутниковый ретранслятор $СР_2$ с пунктом приема данных (ППД) для других спутниковых ретрансляторов $СР_1$, $СР_3$, $СР_4$ будет являться источником непреднамеренных помех. Данные помехи оказывают воздействие на названные ретрансляторы по боковым лепесткам диаграмм направленности их приемных антенн. Такое воздействие на отдельные радиолинии связи может привести к частичной или полной потере передаваемой в них информации либо ее модификации. Для своевременного устранения негативного влияния непреднамеренных радиопомех на передачу информации в радиолиниях ССС крайне важно вовремя обнаружить их источник, определить его координаты и принадлежность, а далее принять организационные и/или технические меры помехозащиты.

Для решения задачи определения координат ИНП, применительно к пространственной структуре системы связи приведенной на рис. 1, может применяться модифицированный разностно-дальномерный метод (РДМ), суть которого и ограничения описаны в [4]. В данном методе, в отличие от известного [7, 8], в качестве опорных пространственных точек принимаются известные координаты СР с прямым переносом спектра сигналов. При этом должно выполняться условие глобальности взаимной радиовидимости ИНП с наземного пункта радиомониторинга (ПРМ) через каждый такой СР.

В материалах статьи [4] были рассмотрены результаты оценки точности определения местоположения источника помех модифицированным РДМ при различных вариантах пространственных структур созвездий, в которые могут выстраиваться СР («дуга», «пирамида» или «тетраэдр», «параллелепипед», «параллелограмм»). С учетом принятых исходных данных, установлено, что из всех рассмотренных вариантов созвездий СР лучшие результаты по точности определения местоположения ИНП $\Delta \bar{R}$ были получены при моделировании созвездия СР «параллелограмм» или «тетраэдр».

Однако описанные в [4] результаты получены при фиксации координат созвездий СР, которые учитывают отклонение широты их подспутниковых точек и разницу значений по долготе, не привязаны к суточному циклу движения кон-

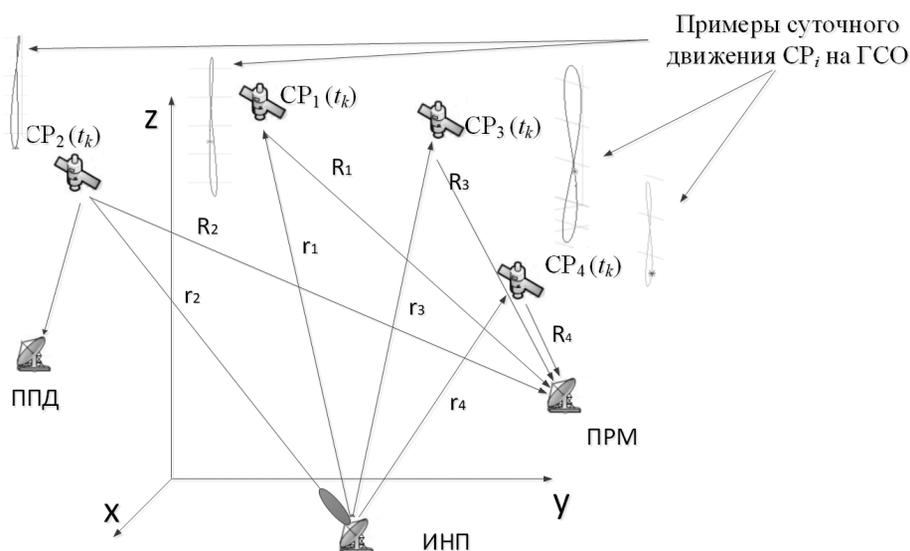


Рис. 1. Пример взаимного расположения СР, пункта радиомониторинга и ППД при реализации модифицированного разностно-дальномерного метода определения координат ИНП в момент времени t_k

кретной системы связи и передачи (ретрансляции) данных. С учетом суточного цикла движения СР конкретной системы связи и передачи данных с использованием разработанной ранее [4] системы моделей и методик можно определить, как меняется точность определения местоположения ИНП в течение суток.

Поэтому актуальной является задача исследования влияния суточных эволюций орбитальной структуры пространственно распределенной сети геостационарных спутников ретрансляторов на точность геолокации наземных источников радиоизлучений на основе применения модифицированного разностно-дальномерного метода.

Основные математические выражения для определения местоположения источников помех на основе применения модифицированного разностно-дальномерного метода

Для решения поставленной задачи разработан алгоритм и программа определения местоположения ИНП (источников радиоизлучений) модифицированным РДМ, учитывающие неточность априорных знаний координат СР_{*i*}, ПРМ и ошибки измерения временных задержек прихода одинаковых реализаций сигнала при прохождении расстояния ИНП – СР_{*i*} – ПРМ [5]. Также программа позволяет накапливать статистические данные об ошибках при определении координат ИНП.

Алгоритм и программа по определению местоположения ИНП модифицированным РДМ основаны на решении следующей системы уравнений [4]:

$$\begin{cases} x(x_2 - x_1) + y(y_2 - y_1) + z(z_2 - z_1) = \\ = A_{12} - B_{12}r_1 - C_{12}, \\ x(x_3 - x_1) + y(y_3 - y_1) + z(z_3 - z_1) = \\ = A_{13} - B_{13}r_1 - C_{13}, \\ x(x_4 - x_1) + y(y_4 - y_1) + z(z_4 - z_1) = \\ = A_{14} - B_{14}r_1 - C_{14}, \end{cases} \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} A_{12} &= 0,5(\rho_2^2 - \rho_1^2 - \Delta r_{21}^2); \\ B_{12} &= (\Delta r_{21} + R_1 - R_2); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{12} &= \Delta r_{21}(R_1 - R_2) + 0,5(R_1 - R_2)^2; \\ A_{13} &= 0,5(\rho_3^2 - \rho_1^2 - \Delta r_{31}^2); \\ B_{13} &= (\Delta r_{31} + R_1 - R_3); \\ C_{13} &= \Delta r_{31}(R_1 - R_3) + 0,5(R_1 - R_3)^2; \\ A_{14} &= 0,5(\rho_4^2 - \rho_1^2 - \Delta r_{41}^2); \\ B_{14} &= (\Delta r_{41} + R_1 - R_4); \\ C_{14} &= \Delta r_{41}(R_1 - R_4) + 0,5(R_1 - R_4)^2; \\ \rho_j &= \sqrt{x_j^2 + y_j^2 + z_j^2}, \quad j = 2, 3, 4; \end{aligned}$$

Δr_{j1} — разность расстояний от ИНП до *j*-го СР, *j* = 2, 3, 4. Δr_{j1} определяется как $\Delta r_{j1} = c\tau_{j1}$, τ_{j1} — разность времен прихода одинаковых реализаций сигнала на 1-й и *j*-й ретранслятор, а *c* — скорость света.

Расстояния *r_i* от ИНП до *i*-го СР и *R_i* от *i*-го СР до ПРМ определяются по известным выражениям [7, 8]:

$$r_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2};$$

$$R_i = \sqrt{(x_i - x_{\text{ПРМ}})^2 + (y_i - y_{\text{ПРМ}})^2 + (z_i - z_{\text{ПРМ}})^2},$$

где *x*, *y*, *z* — неизвестные координаты ИНП; *x_i*, *y_i*, *z_i* — координаты СР, *i* = 1...4; *x_{ПРМ}*, *y_{ПРМ}*, *z_{ПРМ}* — координаты ПРМ.

С учетом принятых в [4] моделей ошибок выражение (1) преобразуется к виду:

$$\begin{cases} r_2 - r_1 = \Delta r_{21}(\sigma_r) + R_1(\sigma_{xyz \text{ СР}}, \sigma_{xyz \text{ ПРМ}}) - \\ - R_2(\sigma_{xyz \text{ СР}}, \sigma_{xyz \text{ ПРМ}}), \\ r_3 - r_1 = \Delta r_{31}(\sigma_r) + R_1(\sigma_{xyz \text{ СР}}, \sigma_{xyz \text{ ПРМ}}) - \\ - R_3(\sigma_{xyz \text{ СР}}, \sigma_{xyz \text{ ПРМ}}), \\ r_4 - r_1 = \Delta r_{41}(\sigma_r) + R_1(\sigma_{xyz \text{ СР}}, \sigma_{xyz \text{ ПРМ}}) - \\ - R_4(\sigma_{xyz \text{ СР}}, \sigma_{xyz \text{ ПРМ}}), \end{cases}$$

где $\sigma_{xyz \text{ СР}}, \sigma_{xyz \text{ ПРМ}}$ — СКО координат СР и ПРМ в гринвичской системе координат (ГСК); σ_r — СКО длины канала распространения сигнала на направлениях ИНП – СР – ПРМ.

Определение текущего значения расстояния между истинными и рассчитанными координатами ИНП осуществляется согласно выражения:

$$\Delta R_n = \sqrt{(x_n - x_{\text{ист}})^2 + (y_n - y_{\text{ист}})^2 + (z_n - z_{\text{ист}})^2},$$

x_n, y_n, z_n — координаты ИНП, рассчитанные на каждом n -ом шаге работы алгоритма; $x_{ист}, y_{ист}, z_{ист}$ — истинные координаты ИНП.

В разработанной программе выполняется следующая последовательность действий:

- ввод исходных данных по географическим координатам CP_i в течение суток, а также высотам их орбит, географическим координатам мест размещения источника помех и ПРМ, количеству циклов N при моделировании экспериментов при одном фиксированном значении координат CP_i , количеству временных интервалов K при моделировании суточного цикла движения CP_i , исходные данные по модели ошибок ($\sigma_{xyz CP}, \sigma_{xyz ПРМ}, \sigma_r$);
- расчет расстояний R_i, r_i и Δr_{ji} и внесение в них ошибок $\sigma_{xyz CP}, \sigma_{xyz ПРМ}, \sigma_r$;
- расчет координат ИНП и ΔR_n в соответствии с количеством циклов N ;
- статистическая обработка массива данных по точности определения местоположения ИНП, под которой понимается определение среднего значения величины пространственной ошибки $\Delta \bar{R}$ на множестве истинных и рассчитанных координат ИНП, рассчитываемой по выражению:

$$\Delta \bar{R} = \sum_{n=1}^N (\Delta R_n) / N;$$

- накопление статистических данных по точности определения координат ИНП за суточный цикл движения спутниковых ретрансляторов $\Delta \bar{R}(t) = [\Delta \bar{R}(t_1), \Delta \bar{R}(t_2), \dots, \Delta \bar{R}(t_k)]$.

Частные результаты работы программы, разработанной в среде Matlab, приведены на рис. 2 и 3.

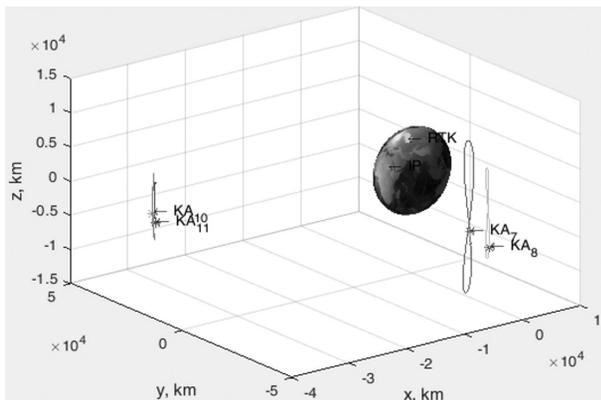


Рис. 2. Исходное положение ИНП, ПРМ и траектории движения CP за сутки

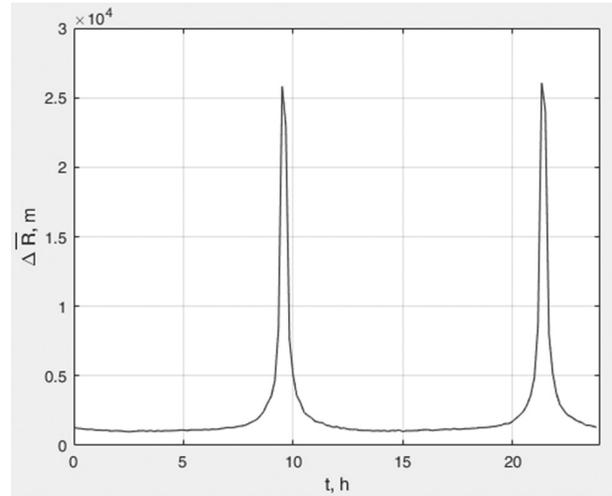


Рис. 3 Зависимость ошибки определения местоположения ИНП от положения CP за сутки

При моделировании использовались следующие исходные данные:

- CP на ГСО с номерами 7, 8, 10, 11;
- сферические координаты места размещения ИНП: $\lambda_{ИНП} = 207^\circ$ вД, $\phi_{ИНП} = 20^\circ$ сШ;
- географические координаты места размещения ПРМ: $\lambda_{ПРМ} = 235^\circ$ вД, $\phi_{ПРМ} = 60^\circ$ сШ;
- исходные данные по модели ошибок: $\sigma_{xyz CP}, \sigma_{xyz ПРМ} = 50$ м, $\sigma_t = 100 \times 10^{-9}$ с;
- количество циклов при моделировании $N = 1000$;
- количество циклов при моделировании суточного цикла движения CP_i : $K = 144$ (временной интервал между рассматриваемыми положениями CP составляет 10 мин).

С учетом того, что координаты спутниковых ретрансляторов известны и могут быть получены из LTE файлов [6], для моделирования были использованы реальные координаты CP на ГСО.

В приведенной на рис. 3 зависимости ошибки определения местоположения ИНП от положения CP (с номерами 7, 8, 10, 11) за сутки, наблюдаются два экстремума на времени 9 ч 30 мин ($\Delta \bar{R} = 25,5$ км) и 21 ч 20 мин ($\Delta \bar{R} = 26,3$ км), во все другие времена среднее значение ошибки определения местоположения ИНП составляет 1,05 км. Важным моментом является то, что по приведенному графику можно заранее определить время в течение суток, когда ошибка $\Delta \bar{R}$ будет минимальной. Анализ таких зависимостей для варьируемых исходных данных позволит определять и рациональную комбинацию CP, которые будут обеспечивать минимальную ошибку

определения координат источников помех. Необходимо отметить, что по приведенному графику невозможно установить причины и условия возникновения экстремумов. Поэтому для выяснения данного вопроса оказалось необходимым провести дополнительные исследования с целью вскрытия сути возможных механизмов и причин возникновения, полученных на рис. 3, экстремумов.

Анализ показал, что при рассмотрении суточного цикла движения СР, четыре точки созвездия в разные моменты времени образуют объемную пирамиду в пространстве (рис. 4). При этом, естественно, длины сторон такой пирамиды постоянно меняются при рассмотрении различных положений СР в пространстве.

Для уточнения причин возникновения экстремумов зависимости $\Delta \bar{R}(t)$ проведено исследование влияния на точность измерений ошибки местоположения ИНП следующих параметров:

- абсолютных длин всех сторон пространственной треугольной пирамиды — 6 параметров (образованной четырьмя точками в пространстве);
- длин проекций всех сторон такой пространственной пирамиды на плоскости касательные к поверхности Земли в точках размещения ИНП и ПРМ;
- площадей проекций граней треугольной пирамиды на плоскости касательные к поверхности Земли в точках размещения ИНП ($S_{\text{проект ИНП}}$) и ПРМ ($S_{\text{проект ПРМ}}$);
- объема пространственной структуры созвездия СР в виде треугольной пирамиды.

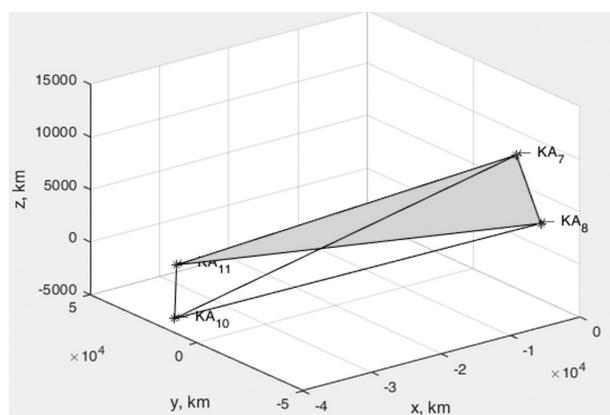


Рис. 4. Пример объемной пирамиды, образованной СР, в момент времени 10 ч 00 мин

Исследование влияния на точность измерений ошибки местоположения ИНП взаимных удаленностей СР в составе созвездия в виде пространственной треугольной пирамиды

Пример объемной пирамиды, образованной СР в момент времени 9 ч 30 мин, приведен на рис. 4 (более темным цветом выделено основание пирамиды). При этом необходимо учитывать, что основание пирамиды в определенные моменты времени может быть образовано разными СР. Так, например, в 10 ч 00 мин основание треугольной пирамиды будет образовано СР с номерами 7, 8 и 11, а в 20 ч 00 мин — СР с номерами 7, 10 и 11. При выборе основания пирамиды предполагается, что плоскость выбранного основания образована тремя СР, которые в текущий момент времени находятся ближе к центру Земли.

Результаты изменения длин всех сторон пространственной треугольной пирамиды приведены на рис. 5. На этом же рисунке приведена зависимость ошибки определения местоположения ИНП от текущих координат СР в течение суток. При этом, как показано на рисунке в области пояснений, соответствующие длины сторон пирамиды были разделены на 10^3 и 10^4 для приведения к масштабу удобному для зрительного восприятия.

Анализ приведенных на рис. 5 результатов показал, что из 6 параметров (длины треугольной пирамиды) информативными могут быть только 2 для текущего созвездия. Такими параметрами яв-

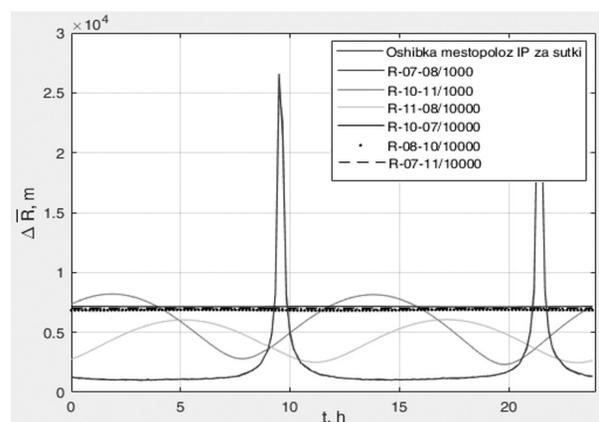


Рис. 5. Изменение длин всех сторон пространственной треугольной пирамиды за рассматриваемые сутки

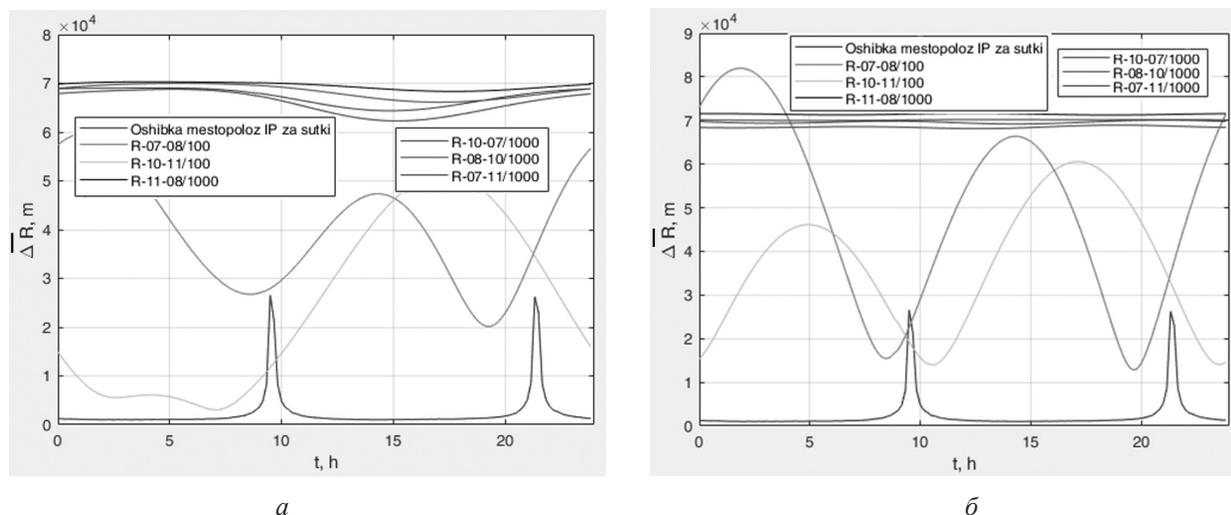


Рис. 6. Изменяющиеся в течение суток проекции длин всех сторон пространственной пирамиды на плоскость XU : а — в системе координат ПРМ; б — в системе координат ИНП

ляются расстояния между ближними СР с номерами 07–08 и 10–11. При этом расстояния между ближними СР несоизмеримы с расстояниями между СР с номерами 07–10, 07–11, 08–10 и 08–11.

Наибольшее изменение значений расстояний наблюдается между ближними СР в созвездии 7–8 и 10–11. При этом видно, что эти линии имеют пересечения в те моменты времени, когда ошибка определения местоположения ИНП возрастает. Данный факт частично раскрывает причину возникновения двух экстремумов на графике ошибки определения местоположения ИНП от положения СР за сутки.

Графики характеризующие изменения расстояний между СР с номерами 7–10, 7–11, 8–10 и 8–11 сливаются в одну линию и визуальной зависимости ошибки определения местоположения ИНП от приведенных расстояний не наблюдается.

Исследование влияния на точность измерений ошибки местоположения ИНП длин проекций всех сторон созвездия СР в виде пространственной пирамиды на плоскости касательной к поверхности Земли в точках размещения ИНП и ПРМ

На рис. 6 приведены результаты имитационного моделирования с масштабированием для удобного визуального восприятия и сравнения с графиком зависимости $\Delta\bar{R}(t)$.

Анализ, приведенных на рис. 6 результатов, показал:

– области экстремумов графика $\Delta\bar{R}(t)$ совпадают с областями пересечения кривых характеризующих расстояния R-07-08 и R-10-11 (рис. 6, б) для проекций длин сторон пространственной пирамиды на плоскость XU в системе координат ИНП. Остальные расстояния (R-11-08, R-10-07, R-08-10, R-07-11,) по сравнению с приведенными меняются более монотонно;

– область экстремума графика $\Delta\bar{R}$ совпадает с областями пересечения кривых характеризующих расстояния R-07-08 и R-10-11 на момент времени 21 ч 20 мин и не совпадает на момент времени 9 ч 30 мин при рассмотрении проекций длин сторон пространственной пирамиды на плоскость XU в системе координат ПРМ (рис. 6, а);

– приведенные графики частично раскрывают причину образования локальных экстремумов зависимости $\Delta\bar{R}(t)$. Достаточно общий вывод, который можно сделать из наблюдения данных графиков, может быть сформулирован так: чем больше расстояния R-07-08 и R-10-11, тем величина $\Delta\bar{R}$ меньше.

Исследование влияния на точность измерений ошибки местоположения ИНП площадей проекций граней созвездия СР в виде треугольной пирамиды на плоскости касательной к поверхности Земли в точках размещения ИНП и ПРМ

На рис. 7 приведены результаты имитационного моделирования с масштабированием для

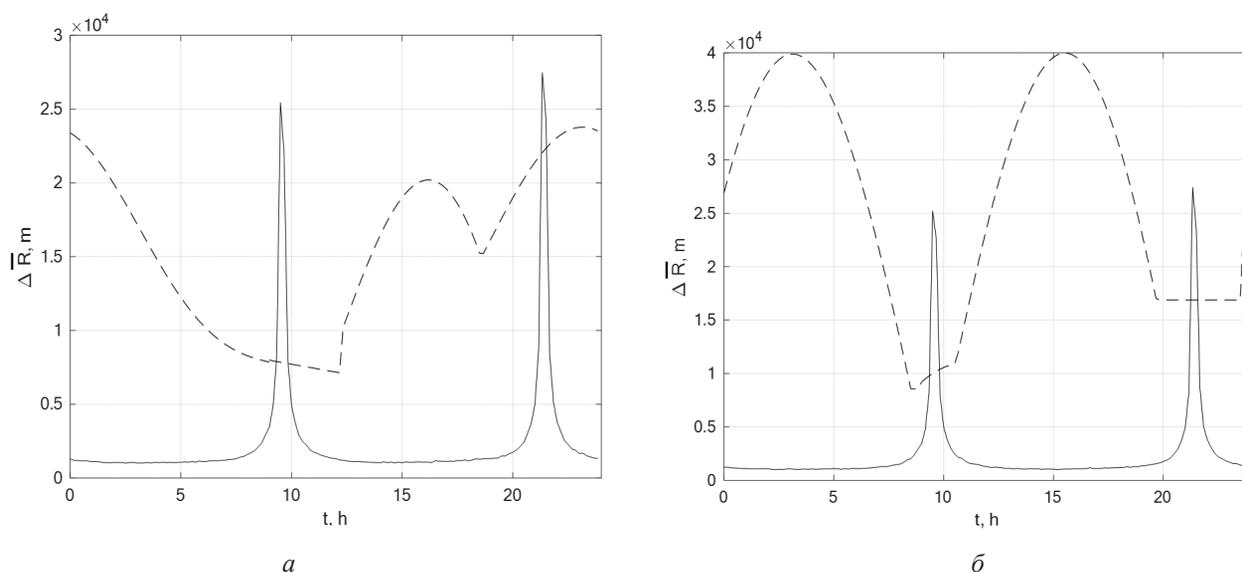


Рис. 7. Площадь проекции треугольной пирамиды на плоскость касательную к поверхности Земли: а — в точке размещения ПРМ; б — в точке размещения ИНП

удобного визуального восприятия и сравнения с графиком зависимости $\Delta\bar{R}(t)$.

Анализ приведенных на рис. 7, а зависимостей показывает, что не удается установить взаимосвязь между ошибкой определения местоположения ИНП и площадью проекцией треугольной пирамиды на плоскости касательной к поверхности Земли в точке размещения ПРМ. Так в период времени с 8 ч 30 мин до 10 ч 30 мин при минимальном значении $S_{\text{проект ПРМ}}$ ошибка определения местоположения имеет максимальное значение, а в период времени с 21 ч по 21 ч 48 мин значение $S_{\text{проект ПРМ}}$ монотонно возрастает и при этом не достигает пикового значения в момент пикового значения ошибки $\Delta\bar{R}(t)$. Поэтому данный график можно считать неинформативным.

Анализ приведенных на рис. 7, б зависимостей позволяет сделать вывод о том, что чем больше площадь треугольной пирамиды на плоскость касательную к поверхности Земли в точке ИНП $S_{\text{проект ИНП}}$, тем меньше ошибка $\Delta\bar{R}(t)$. Так в период времени с 8 ч 30 мин до 10 ч 30 мин площадь $S_{\text{проект ИНП}}$ имеет значение порядка $10000 \cdot 10^{10} \text{ м}^2$ и в то же время ошибка $\Delta\bar{R}$ достигает максимального значения $2,5 \cdot 10^4 \text{ м}$ (первый экстремум), а в период времени с 21 ч до 22 ч $S_{\text{проект ИНП}}$ практически не изменяется и имеет среднее значение $17000 \cdot 10^{10} \text{ м}^2$, а ошибка $\Delta\bar{R}$ достигает максимального значения 27416 м (второй экстремум).

Исследование влияния на точность измерений ошибки местоположения ИНП объема пространственной структуры созвездия СР в виде треугольной пирамиды (тетраэдра)

Для определения объема пространственной треугольной пирамиды используется выражение:

$$V = \det(\mathbf{M}) / 6,$$

где $\det(\mathbf{M})$ — определитель матрицы, содержащей координаты вершин треугольной пирамиды:

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & z_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & z_2 \\ 1 & x_3 & y_3 & z_3 \\ 1 & x_4 & y_4 & z_4 \end{bmatrix}.$$

Частный результат вычисления объема пространственной треугольной пирамиды, образующейся при рассмотрении заданного созвездия СР в течение суток приведен на рис. 8. При построении графика объем взят по модулю и поделен на коэффициент 1016 для визуализации эффекта влияния $|V(t)|$ на ошибку $\Delta\bar{R}(t)$.

Анализ приведенных на рис. 8 результатов показал, что объем пространственной пирамиды имеет минимальные значения в те моменты вре-

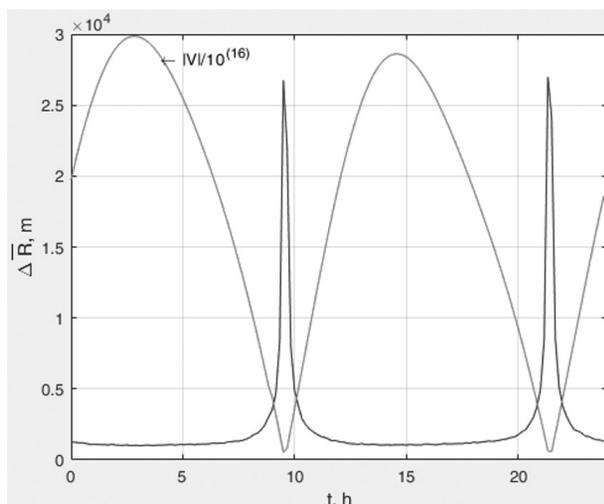


Рис. 8. Зависимость изменения объема пространственной треугольной пирамиды от изменения местоположения CP в течение суток

мени, которые характеризуют максимумы ошибки определения местоположения ИНП при текущих вариантах расположения CP в пространстве. Т.е., чем меньше объем рассматриваемого тетраэдра, образованного CP в заданный момент времени, тем больше ошибка определения местоположения ИНП.

Выводы

На основании проведенных исследований можно сделать ряд обобщающих выводов:

- выявлена новая устойчивая взаимосвязь между объемом рассматриваемой пространственной структуры созвездия CP в виде тетраэдра (или треугольной пирамиды), который образуется спутниковыми ретрансляторами в каждый момент времени их полета в течение суток, и средним значением ошибки определения местоположения ИНП — $\Delta\bar{R}(t)$. При этом установлено, что чем больше объем рассматриваемого тетраэдра, тем меньше ошибка определения местоположения ИНП;

- промежуточные результаты оценки точности определения местоположения ИНП, приведенные на рис. 5 и 6, частично раскрывают причину возникновения экстремумов зависимости $\Delta\bar{R}(t)$ в течение суточного движения CP. Так изменяющиеся в течение суток длины сторон пространственной треугольной пирамиды R-10-11 и R-11-08 имеют минимальные значения имен-

но в те временные интервалы, в течение которых ошибка $\Delta\bar{R}(t)$ имеет максимальные значения (рис. 5). Это же подтверждается и зависимостями приведенными на рис. 7, б, где проекции длин сторон пространственной пирамиды R-07-08 и R-10-11 на плоскость XY в системе координат ИНП также имеют минимальные значения именно в те моменты времени, в которые ошибка $\Delta\bar{R}(t)$ имеет максимальные значения. И в том и в другом случае изменение длин приведенных сторон ведет к тому, что объем рассматриваемой пространственной структуры созвездия CP в виде тетраэдра (или треугольной пирамиды), также изменяется.

Выявленные в ходе исследований новые закономерности могут быть использованы для создания научно-методического аппарата планирования измерительных работ, позволяющего осуществлять поиск рационального (опорного) состава группировки спутниковых ретрансляторов, обеспечивающего минимальную погрешность определения текущего местоположения ИНП на рассматриваемом участке местности в заданный интервал времени.

Литература

1. В России введена в строй система геолокации [Электронный ресурс]. — Режим доступа: www.rkn.gov.ru/news/rsoc/news16618.html (дата обращения 18.01.2021).
2. Китай создает спутниковую систему дистанционного зондирования для геолокации. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: www.tass.ru/kosmos/4845907 (дата обращения 18.01.2021).
3. Клименко Н.Н. Современные низкоорбитальные космические аппараты для геолокации и идентификации источников радиоизлучений // Воздушно-космическая сфера. 2018. № 2 (95). С. 48–57.
4. Сиротин И.Н., Вознюк В.В., Зайцев С.А. Модифицированный разностно-дальномерный метод определения местоположения источников помех системам спутниковой связи на основе принципа пространственно распределенной ретрансляции сигналов и помех // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. 2020. № 3–4 (141–142). С. 43–52.

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020617945 / Сиротин И.Н., Вознюк В.В., Левин Д.В., Агафонов Д.А. Программный комплекс для определения местоположения источников помех системам спутниковой связи модифицированным разностно-дальномерным методом на основе принципа пространственно распределенной ретрансляции сигналов и помех. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ: 15.07. 2020.

6. www.celestrak.com/NORAD/elements/tdrss.txt (дата обращения 18.01.2021).

7. Теоретические основы радиолокации: учеб. пособие для вузов / А.А. Коростелев, Н.Ф. Ключев, Ю.А. Мельник; под ред. В.Е. Дулевича. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Сов. радио. 1978. 608 с.

8. Космические траекторные измерения. Радиотехнические методы измерений и математическая обработка данных / П.А. Агаджанов и др. — М.: Советское радио. 1969. 498 с.

References

1. A geolocation system has been put into operation in Russia. [Electronic resource]. — Access mode: www.rkn.gov.ru/news/rsoc/news16618.html (accessed 18.01.2021).

2. China is creating a satellite remote sensing system for geolocation. [Electronic resource]. — Access mode: www.tass.ru/kosmos/4845907 (accessed 18.01.2021).

3. Klimenko N.N. Modern low-orbit spacecraft for geolocation and identification of radio emission sources // *The aerospace sphere*. 2018. № 2 (95). P. 48–57.

4. Sirotin I.N., Voznyuk V.V., Zaitsev S.A. Modified difference-rangefinder method for determining the location of sources of interference to satellite communication systems based on the principle of spatially distributed retransmission of signals and interference. *Military Enginery. Issue 16. Counter-terrorism technical devices*. 2020. № 3–4 (141–142). P. 43–52.

5. Certificate of state registration of the computer program № 2020617945 / Sirotin I.N., Voznyuk V.V., Levin D.V., Agafonov D.A. A software package for determining the location of sources of interference to satellite communication systems by a modified difference-rangefinder method based on the principle of spatially distributed retransmission of signals and interference. Date of state registration in the Register of Computer Programs: 15.07. 2020.

6. www.celestrak.com/NORAD/elements/tdrss.txt (accessed 18.01.2021).

7. Theoretical foundations of radar: textbook. handbook for universities / Korostelev A.A., Klyuev N.F., Melnik Yu.A.; edited by V.E. Dulevich. 2nd ed., reprint. and additional — М.: Sov. radio. 1978. 608 p.

8. Space trajectory measurements. Radio engineering measurement methods and mathematical data processing / P.A. Agadzhanov et al. — Moscow: Sovetskoe radio. 1969. 498 p.