

Афанасьев Вадим Владимирович, д.т.н., проф. каф. Электронных и квантовых средств передачи информации, ivans8585@mail.ru.

Кутдусов Ильмир Маратович, бакалавр, каф. ЭКСПИ, kutdl@mail.ru.

Шарифуллин Тимур Булатович, магистр, каф. ЭКСПИ, Tsharif@mail.ru.

УДК 004.624

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ СЕАНСА СВЯЗИ НИЗКООРБИТАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ С НАНОСПУТНИКОМ**

В.А. Зеленский, В.И. Скрипко

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара

Для частных низкоорбитальных космических аппаратов существует проблема длительности сеансов связи, вызванная отсутствием инфраструктуры пунктов приема информации (ППИ). Суммарная длительность сеансов с ППИ не превышает 30 минут в течение суток. Использование низкоорбитальных систем связи (НСС) в качестве резервного канала может обеспечить более длительное соединение с ППИ, улучшить качество связи и повысить эффективность работы космического аппарата.

Исследование [1] показывает, что для наноспутников (НС) наиболее подходящими являются НСС из-за меньших энергетических затрат на передачу данных. Рассмотрим такие НСС, как «Иридиум», «Глобалстар», «Гонец». НСС «Иридиум» не подходит для ретрансляции из-за низкой орбиты 780 км и, соответственно, малого конуса покрытия на высоте НС. Более подходящим является НСС «Глобалстар» с высотой орбиты 1500 км, которая применялась на НС ТНС-02 [2]. За год эксплуатации суммарное время связи составило 38 часов 47 минут 22 секунды. Произведено 1195 успешных и 119 не успешных сеансов связи со средней длительностью 1 минута и 57 секунд [3].

В качестве исследуемой с учетом требований импортозамещения была выбрана отечественная НСС «Гонец» [4]. НСС располагается на наклонении 82,5 градуса, высоте 1500 км и покрывает широты территории Российской Федерации. Это создает схожие с НСС «Глобалстар» условия связи.

С помощью пакета Matlab разработано программное обеспечение по прогнозированию связи между НСС «Гонец» и наноспутником (рис. 1). В качестве исследуемых объектов были выбраны космический аппарат на солнечно-синхронной орбите и орбите МКС. С помощью двустрочного набора элементов, иначе TLE, получаются актуальные параметры орбиты (год эпохи, время эпохи, наклонение, долгота восходящего узла, эксцентриситет, аргумент перицентра, средняя аномалия, частота обращения), необходимые для расчета векторов состояний. Численное

моделирование выполнялось с помощью метода Рунге-Кутты 4-го порядка, модификации Дормана-Принца.

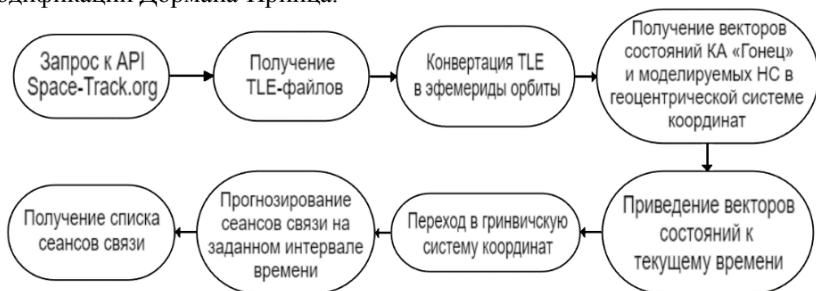


Рисунок 1 – Алгоритм для прогнозирования связи между наноспутником и НСС «Гонец»

Условие успешной ретрансляции определялось как взаимная одновременная видимость между ППИ космического аппарата и НСС «Гонец»-наноспутник. Взаимная видимость определяется следующим неравенством:

$$\Phi_{\text{НС-ГОНЕЦ}} = \vec{r}_{\text{НС-ГОНЕЦ}} \vec{r}_{\text{НС}} - |\vec{r}_{\text{НС-ГОНЕЦ}}| r_g \sin \gamma_{\min} > 0,$$

где  $\gamma_{\min}$  – минимальный угол возвышения, а другие величины из уравнения определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} \vec{r}_{\text{НС-ГОНЕЦ}} \vec{r}_{\text{НС}} &= (X_g - X_{g_{\text{НС}}}) X_{g_{\text{НС}}} + (Y_g - Y_{g_{\text{НС}}}) Y_{g_{\text{НС}}} + (Z_g - Z_{g_{\text{НС}}}) Z_{g_{\text{НС}}}, \\ |\vec{r}_{\text{НС-ГОНЕЦ}}| &= \sqrt{(X_g - X_{g_{\text{НС}}})^2 + (Y_g - Y_{g_{\text{НС}}})^2 + (Z_g - Z_{g_{\text{НС}}})^2}, \\ r_g &= \sqrt{X_{g_{\text{НС}}}^2 + Y_{g_{\text{НС}}}^2 + Z_{g_{\text{НС}}}^2}. \end{aligned}$$

Все координаты указаны в гринвичской системе координат.

Аналогично определяется взаимная видимость ППИ-космического аппарата «Гонец». ППИ расположены в Ростове-на-Дону, Мурманске, Железнодорожке, Норильске, Анадыре, Южно-Сахалинске.

Были получены результаты задержки и средней длительности сеансов связи, представленные в таблице 1. При использовании НСС «Гонец» на орбите МКС в качестве резервного канала связи можно получить схожие с ТНС-02 результаты при использовании системы «Глобалстар», а при использовании на синхронно-солнечной орбите время задержки и средняя длительность значительно увеличивается. Соответственно, используя НСС, можно судить о возможности повышения надежности и автономности системы связи наноспутника.

Таблица 1 – Результаты анализа данных работы программы

Тип орбиты	Количество действующих спутников	Средняя длительность сеанса связи, с	Средние задержки между сеансами, с
ССО	12	310	18699
	15	281	13487
МКС	12	205	30083
	15	183	16559

Разработанное программное обеспечение предназначено для получения информации о предстоящем сеансе связи с НСС «Гонец» для ее последующей передачи на наноспутник, поскольку вычисления на борту наноспутника производить сложно. Возможна настройка по углам возвышения, длительности прогнозирования и минимальной длительности сеанса связи. При прогнозировании на длительный интервал времени (до 5 суток) накапливается погрешность определения минимальной длительности сеанса связи не более 10 секунд.

#### Список использованных источников

1. Khan, K. S. Data Communication With A Nano-satellite Using Satellite Personal Communication Networks (s-pcns) // Electronic Theses and Dissertations – University of Central Florida – Florida, 2008. – 109 с.
2. Ivanov, D. Technological NanoSatellite TNS-0 #2 Connected Via Global Communication System / D. Ivanov [et al.]. // Academy transactions note. – 2020. – С. 1-8.
3. Сводка по работе ЦУП ТНС-0 №2 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [https://russianspacesystems.ru/wp-content/uploads/2018/01/Svodka\\_po\\_rabote\\_CUP\\_TNS\\_20171218.pdf](https://russianspacesystems.ru/wp-content/uploads/2018/01/Svodka_po_rabote_CUP_TNS_20171218.pdf) (дата обращения: 05.03.2023).
4. Баканов, Д. В. Применение многофункциональной системы персональной спутниковой связи «Гонец-Д1М» для обеспечения информационного взаимодействия между удаленными абонентам [Текст] / Д. В. Баканов [и др.] // Техника средств связи. – 2018. – № 2 (142). – 5 с.

Зеленский Владимир Анатольевич, д.т.н., профессор каф. РЭС, zelenskiy.va@ssau.ru  
Скрипко Владислав Игоревич, студент гр. 3132-110401D, vlad.scrip.2001@mail.ru.

УДК 681.31:681.5

## СПОСОБЫ РЕАЛИЗАЦИИ АНАЛОГОВОГО ИНТЕРФЕЙСА

А.Н. Муравьев

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара

Основная функция аналогового интерфейса в системах сбора и обработки данных заключается в улучшении качества сигнала с датчика, выраженного отношением сигнал/шум, для дальнейшей оцифровки АЦП. Таким образом, задача построения аналогового интерфейса, как правило,