

УДК 629.5.058.76 DOI 10.30894/issn2409-0239.2021.8.1.39.47

## Повышение эффективности телеметрических радиолиний кластера малоразмерных космических аппаратов

**А. И. Азаров**, к. т. н., [azaroff1985@yandex.ru](mailto:azaroff1985@yandex.ru)

*Военная академия РВСН имени Петра Великого, г. Балашиха, Российская Федерация*

**Е. В. Бударин**, [zhenyoker231@yandex.ru](mailto:zhenyoker231@yandex.ru)

*НИИ Калининградского филиала Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн  
имени Н. В. Пушкова РАН, г. Калининград, Российская Федерация*

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию энергетической и частотной эффективности частотно-модулированных сигналов с непрерывной фазой. Полученные по результатам исследования значения показателей эффективности позволили дополнить существующие диаграммы эффективности телеметрических радиолиний новыми значениями. Результаты работы упрощают задачу выбора сигналов для обеспечения информационного обмена по телеметрическим радиолиниям кластера в условиях ограничений, накладываемых на энергетические ресурсы.

Проведен анализ показателей эффективности методов угловой модуляции, используемых в современных телеметрических системах. Учтены особенности кластерного построения орбитальной группировки малоразмерных космических аппаратов. Предложено использование частотно-модулированных сигналов с непрерывной фазой, позволяющих повысить энергетическую эффективность телеметрических радиолиний за счет межсимвольных фазовых связей, присущих данному классу сигналов.

По результатам имитационного моделирования определены значения показателей эффективности для предлагаемых сигналов. Учет межсимвольных фазовых связей осуществлен с помощью алгоритма Витерби. Определены значения индексов модуляции частотно-модулированных сигналов с непрерывной фазой, представляющие практический интерес. Применение предлагаемых сигналов позволяет получить энергетический выигрыш до 3 дБ по сравнению с сигналами, используемыми в настоящее время. Выделены значения индексов модуляции, использование которых нецелесообразно.

**Ключевые слова:** кластер, малоразмерный космический аппарат, диаграмма эффективности, непрерывная частотная модуляция, показатель расхода энергетических ресурсов, помехоустойчивость

## Increasing the Efficiency of the Small Spacecraft Cluster Telemetry Radio Links

**A. I. Azarov**, *Cand. Sci. (Engineering)*, [azaroff1985@yandex.ru](mailto:azaroff1985@yandex.ru)

*Military Academy of the Strategic Missile Forces named after Peter the Great, Balashikha, Russian Federation*

**E. V. Budarin**, [zhenyoker@yandex.ru](mailto:zhenyoker@yandex.ru)

*West Department of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation,  
Russian Academy of Sciences, Kaliningrad, Russian Federation*

**Abstract.** The article is devoted to the study of the energy and frequency efficiency of frequency modulated signals with a continuous phase. The values of efficiency indicators obtained from the results of the study made it possible to supplement the existing diagrams of the efficiency of telemetric radio lines with new values. The results of the work simplify the task of selecting signals to ensure information exchange via telemetric radio lines of the cluster under the conditions of restrictions imposed on energy resources.

The analysis of efficiency indicators of angular modulation methods used in modern telemetry systems is carried out. The features of the cluster construction of the orbital constellation of small spacecraft are taken into account. The use of frequency modulated signals with a continuous phase is proposed, which makes it possible to increase the energy efficiency of telemetry radio lines due to intersymbol phase connections inherent in this class of signals.

Based on the results of the simulation, the values of performance indicators for the proposed signals are determined. Intersymbol phase connections were taken into account using the Viterbi algorithm. The values of the modulation indices of frequency modulated signals with continuous phase, which are of practical interest, are determined. The use of the proposed signals makes it possible to obtain an energy gain of up to 3 dB in comparison with the signals used at present. The values of the modulation indices, the use of which is impractical, are highlighted.

**Keywords:** cluster, small spacecraft, efficiency diagram, continuous frequency modulation, energy consumption indicator, noise immunity