

УДК 621.396

**ОЦЕНКА НАЧАЛЬНОЙ ФАЗЫ УЗКОПОЛОСНОГО РАДИОСИГНАЛА  
С НЕИЗВЕСТНЫМИ АМПЛИТУДОЙ И ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ\*****А. П. ТРИФОНОВ, Ю. Э. КОРЧАГИН, М. В. ТРИФОНОВ, К. С. КАЛАШНИКОВ***Воронежский государственный университет,  
Россия, Воронеж, 394006, Университетская пл., д. 1*

**Аннотация.** Синтезированы квазиравдоподобный и максимально правдоподобный алгоритмы оценки начальной фазы радиосигнала с огибающей произвольной формы и с неизвестными длительностью и амплитудой. Предложены блок-схемы измерителей начальной фазы. Найдены характеристики синтезированных алгоритмов и выполнено сравнение точности оценок начальной фазы. Показано, что структура квазиравдоподобной оценки начальной фазы инвариантна к незнанию амплитуды радиосигнала, однако несовпадение ожидаемого значения длительности сигнала с его истинным значением может привести к заметному увеличению рассеяния квазиравдоподобной оценки начальной фазы. Определен проигрыш в точности оценки начальной фазы вследствие априорного незнания длительности сигнала. Показано, что аналитические выражения для статистических характеристик максимально правдоподобной оценки начальной фазы при больших отношениях сигнал–шум асимптотически совпадают с характеристиками максимально правдоподобной оценки начальной фазы радиосигнала с априори известными амплитудой и длительностью, а, следовательно, априорное незнание длительности сигнала асимптотически с ростом отношения сигнал–шум не влияет на точность максимально правдоподобной оценки начальной фазы. Методами статистического моделирования на ЭВМ определены границы применимости асимптотических выражений для характеристик максимально правдоподобной оценки применительно к сигналам с линейно и экспоненциально изменяющимися огибающими.

**Ключевые слова:** оценка максимального правдоподобия; квазиравдоподобная оценка; начальная фаза; длительность; амплитуда; смещение; рассеяние

Задача оценки начальной фазы радиосигнала, наблюдаемого на фоне шума, актуальна для многих практических приложений радиоэлектроники и неоднократно рассматривалась в литературе [1–10]. Так, например, необходимость детектирования фазоманипулированных (ФМ) сигналов, используемых в современных телекоммуникационных системах, требует формирования оценки начальной фазы. В [1, 2] рассмотрена максимально прав-

доподобная (МП) оценка начальной фазы узкополосного радиосигнала при условии, что все остальные параметры сигнала априори известны, найдены характеристики оценки. В [3] исследованы способы построения когерентных демодуляторов ФМ сигналов на основе фазовой автоподстройки частоты несущего генератора опорного сигнала и на основе сдвига по фазе демодулируемого сигнала. Оценка на-

---

\* Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 17-71-10057).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куликов, Е.И.; Трифонов, А.П. *Оценка параметров сигналов на фоне помех*. М.: Сов. радио, 1978. 296 с.
2. Тихонов, В.И. *Оптимальный прием сигналов*. М.: Радио и связь, 1983. 320 с.
3. Иващенко, П.В.; Перекрестов, И.С. “Оптимальная оценка фазы несущей при демодуляции сигналов цифровой модуляции,” *Цифровые технологии*, № 6, С. 40-47, 2009. URI: <https://ojs.onat.edu.ua/index.php/digitech/article/view/660>.
4. Харисов, В.Н.; Булавский, Н.Т.; Лупина, М.В. “Алгоритм оценки задержки на основе обработки фазы многочастотных сигналов,” *Радиотехника*, № 7, С. 80-83, 2006. URI: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9233525>.
5. Захаров, А.В. “Эффективность оценки фазы радиосигнала при наличии быстрых замираний,” *Вестник ВГУ. Серия: Физика. Математика*, № 2, С. 221-228, 2010. URI: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/physmath/2010/02/2010-02-30.pdf>.
6. Гладких, Н.Д. “Оценка влияния доплеровского расширения полосы частот на ошибку оценки фазы гидроакустического (ГА) сигнала,” *Электроника та зв’язок*, № 6, С. 85-93, 2012. URI: <http://elc.kpi.ua/old/article/download/11404/9742>.
7. Noels, N.; Steendam, H.; Moeneclaey, M.; Bruneel, H. “Carrier phase and frequency estimation for pilot-symbol assisted transmission: bounds and algorithms,” *IEEE Trans. Signal Process.*, Vol. 53, No. 12, P. 4578-4587, 2005. DOI: [10.1109/TSP.2005.859318](https://doi.org/10.1109/TSP.2005.859318).
8. Yang, G.; Wang, J.; Zhang, G.; Shao, Q.; Li, S. “Joint estimation of timing and carrier phase offsets for MSK signals in alpha-stable noise,” *IEEE Commun. Lett.*, Vol. 22, No. 1, P. 89-92, 2018. DOI: [10.1109/LCOMM.2017.2767031](https://doi.org/10.1109/LCOMM.2017.2767031).
9. Ivanov, S. I.; Liokumovich, L. B.; Medvedev, A. V. “Estimation of the parameters of the phase modulated signal in presence of the background noise using complete sufficient statistics,” *Proc. of XX IEEE Int. Conf. on Soft Computing and Measurements, SCM*, 24-26 May 2017, St. Petersburg, Russia. IEEE, 2017, P. 11-13. DOI: [10.1109/SCM.2017.7970480](https://doi.org/10.1109/SCM.2017.7970480).
10. Chernoyarov, O. V.; Glushkov, A. N.; Litvinenko, V. P.; Litvinenko, Yu. V.; Matveev, B. V. “Fast digital algorithms for the coherent demodulation of the phase-shift keyed signals,” *Proc. of Conf. on Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines, Dynamics*, 14-16 Nov. 2017, Omsk, Russia. IEEE, 2017, P. 1-5, DOI: [10.1109/Dynamics.2017.8239444](https://doi.org/10.1109/Dynamics.2017.8239444).
11. Трифонов, А.П.; Шинаков, Ю.С. *Совместное различение сигналов и оценка их параметров на фоне помех*. М.: Радио и связь, 1986. 268 с.
12. Тихонов, В.И. *Статистическая радиотехника*. М.: Радио и связь, 1982. 624 с.
13. Грязнов, М.И.; Гуревич, М.Л.; Рябинин, Ю.А. *Измерение параметров импульсов*. М.: Радио и связь, 1991. 216 с.
14. Корчагин, Ю.Э. “Оценка длительности радиосигнала с неизвестными амплитудой и фазой,” *Радиотехника*, № 9, С. 11-19, 2013. URI: <http://radiotec.ru/article/13420>.
15. Trifonov, A. P.; Korchagin, Yu. E.; Trifonov, M. V.; Chernoyarov, O. V.; Artemenko, A. A. “Amplitude estimate of the radio signal with unknown duration and initial phase,” *Appl. Math. Sci.*, Vol. 8, No. 111, P. 5517-5528, 2014. DOI: [10.12988/ams.2014.47588](https://doi.org/10.12988/ams.2014.47588).
16. Трифонов, А.П.; Бутейко, В.К. “Характеристики совместных оценок параметров сигнала при частичном нарушении условий регулярности,” *Радиотехника и электроника*, Т. 36, № 2, С. 319-327, 1991.

Поступила в редакцию 11.04.2016

После переработки 04.04.2018