

# Цифровая обработка оптических сигналов в стандарте частоты на атомах рубидия – 87

К.Г. Аринушкина<sup>1</sup>, А.П. Валов<sup>2</sup>, В.В. Давыдов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Политехническая 29, Санкт-Петербург, Россия, 195251

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Большевиков 22 корп. 1, Санкт-Петербург, Россия, 193232

## Аннотация

Обоснована необходимость улучшения метрологических характеристик квантового стандарта частоты при определении координат объекта на поверхности Земли или продолжительной передаче больших объемов данных в спутниковых системах связи. Предложен новый алгоритм цифровой обработки оптических сигналах в стандарте частоты для получения информации о сигнале ошибки с использованием метода медианной фильтрации. Представлены результаты экспериментальных исследований метрологических характеристик квантового стандарта частоты на атомах рубидия - 87. Установлено, что улучшение долговременной стабильности частоты на 5% с использованием нового алгоритма уменьшает число битовых ошибок при продолжительной передаче информации минимум на 3% и повышает точность определения координат объекта от 15 до 20%.

## Ключевые слова

Объем информации, алгоритм обработки, оптический сигнал, автоматическая подстройка частоты, медианная фильтрация, долговременная и кратковременная стабильность частоты

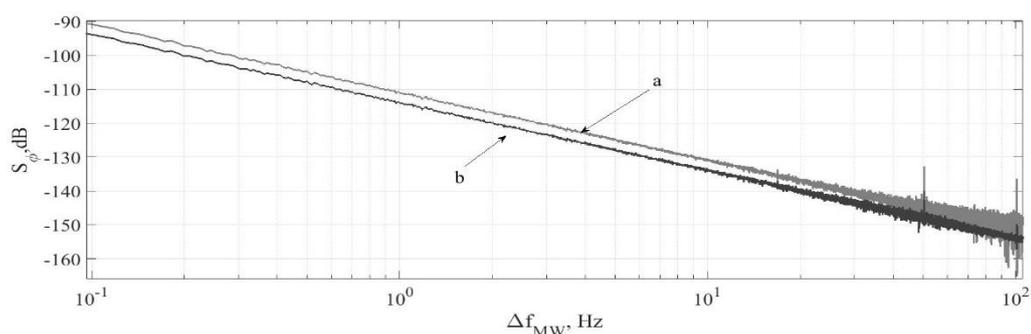
## 1. Введение

Особое место среди устройств определения частоты и времени занимают квантовые стандарты частоты (КСЧ) [1]. Основное его преимущество — это использование для устойчивой работы систем стабилизации частоты лазерного излучения и оптических элементов. Незначительный уход частоты от номинального значения приводит к большим ошибкам, особенно при передаче больших потоков данных и определении координат объекта. Одной из основных проблем спутниковой системы является взаимная синхронизация временных шкал спутников до наносекунд и менее. Например, ошибка навигационных сигналов, излучаемых разными спутниками при временном рассогласовании в 10 нс, вызывает дополнительную ошибку при определении местоположения объекта в 10-15 метров. Решение новых задач в передаче информации и определении координат требует постоянной модернизации спутниковых навигационных систем, в том числе и КСЧ. В данной работе рассматривается один из вариантов модернизации КСЧ на атомах рубидия - 87 для улучшения его метрологических характеристик.

## 2. Новый алгоритм обработки оптических сигналов

В квантовом стандарте частоты на рубидиевой газовой ячейке для перераспределения населенностей уровней используется метод оптической накачки, который дает возможность поглощения атомному ансамблю СВЧ-излучения с частотой 6,83 ГГц. Из-за того, что происходит наложение спектральных картин Rb87 и Rb85 друг на друга, с помощью излучения лампы с парами Rb87 и ячейки фильтра на парах изотопа Rb85 осуществляется оптическая накачка атомов [1]. При длительной эксплуатации КСЧ, особенно в космосе, происходит

дисбаланс параметров его работы. Для их подстройки необходимо вычислять значения сигнала ошибки. Большое влияние на этот сигнал оказывают различные шумы, которые присутствуют в оптических сигналах. Использование медианной фильтрации данных от оптических сигналов позволяет снизить последствия случайного шума в сигнале ошибки, что позволяет уменьшить фазовый шум [2]. При использовании оптических световых сигналов для регистрации условий резонанса на фотоприемных устройствах важной характеристикой является спектральная плотность мощности  $S_{\phi}$ . Оптический сигнал, поступающий на фотодиод, оцифровывается и поступает на устройство управления, в основе которого лежит микроконтроллер. Данные поступившие на устройство управления фильтруются и на их основе рассчитывается сигнал управления кварцевого генератора для подстройки на более высокостабильную частоту рубидиевого перехода. На рис. 1 в качестве примера представлена спектральная плотность шума в диапазоне частот подстройки резонансной частоты квантового перехода.



**Рисунок 1:** Спектральная плотность шума  $S_{\phi}$ . График (а) соответствует ранее используемой конструкции КСЧ, график (б) – с разработанным нами методом

Анализ полученных на рисунке 1 результатов экспериментальных исследований показал, что использование медианной фильтрации и микроконтроллера для управления в КСЧ позволяет уменьшить мощность фазовых шумов в выходном спектре сигнала. Использование медианной фильтрации данных в кольце автоматической подстройки частоты сигнала СВЧ возбуждения позволяет уменьшить один из важнейших возмущающих факторов, влияющих на кратковременную стабильность частоты - плотность спектральных шумов.

### 3. Заключение

Экспериментальные исследования метрологических характеристик КСЧ на атомах рубидия - 87 показали улучшение долговременной стабильности частоты на 5 %. Полученные улучшения кратковременной и долговременной стабильности частоты позволяют повысить степень надежности работы спутниковых систем передачи больших объемов информации и определения координат.

### 4. Литература

- [1] Риле, Ф. Стандарты частоты / Ф. Риле. – М.: Физматлит, 2009. – 511 с.
- [2] Valov, A.P. The method of improving the parameters of the microwave excitation signal in the rubidium – 87 quantum frequency standard / A.P. Valov, V.V. Davydov, V.Yu. Rud // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1410(1). – P. 012246.