

# ОЦЕНИВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ В СИСТЕМАХ СИНХРОНИЗАЦИИ

Коваль Ю. А., Костыря А. А., Приймак В. Ю., Ал-Твежри Б. А.  
Харьковский национальный университет радиозлектроники  
г. Харьков, пр. Ленина 14, 61166, Украина  
тел.: 702-14-30, e-mail: koval1934@mail.ru

**Аннотация** — Рассмотрены основные методы синхронизации и проведен анализ их алгоритмов. Даны соотношения для оценки сдвига шкал эталонов и погрешностей основных алгоритмов. Дана классификация и предложены способы оценивания неопределенностей измерений.

## I. Введение

Синхронность (сравнение, привязка) территориально разнесенных стандартов (в частности для эталонов – сличение) времени и частоты – основа для реализации современных частотно-временных методов в координатно-временном обеспечении, метрологии времени и частоты, радиоастрономии, радиолокации, радиопеленгации и др. [1]. Важную роль играет синхронизация в современных сетях связи [2].

Высокие темпы совершенствования эталонов определяют актуальность повышения точности их синхронизации. Помимо прямого метода (перевозимые квантовые часы – ПКЧ), наибольшую точность обеспечивают радиотехнические методы с использованием различных частотных диапазонов. До 2000 г. использовался радиометеорный метод синхронизации (РМС) [3], а в настоящее время – метод, основанный на использовании спутниковых радионавигационных систем (СРНС) GPS и ГЛОНАСС [4]. Используется также ретрансляция сигналов через геостационарные спутники (ГС) [5]. В ХНУРЭ разрабатывается новый метод с применением сигналов, излучаемых ГС [6].

Сопоставление методов синхронизации возможно только при разработке идентичных методик расчета погрешностей, а в настоящее время и неопределенностей измерений сдвига шкал [7, 8].

Разработке основных подходов к решению этой задачи посвящена настоящая работа.

## II. Погрешности синхронизации

Особую роль при анализе и сравнении систем сличения по точности и другим показателям играют алгоритмы измерений – порядок обмена сигналами между сличаемыми эталонами, который, после исключения времени задержки сигналов в канале РРВ и аппаратуре, обеспечивает измерение сдвига шкал.

Алгоритмы сличения, с точки зрения излучения сигналов в пунктах размещения эталонов, можно разделить на два вида:

- 1) пассивный алгоритм общего охвата (АОО) (англ. термин – *common-view*), основанный на приеме в пунктах сигнала общего источника  $s_0(t)$  (см. рис. 1);
- 2) группа активных алгоритмов, в которых имеют место излучения сигналов в каждом из пунктов.

АОО реализуется в СРНС и новом методе «ГС+АОО» [6].

В РМС, основанном на метеорном распространении радиоволн (МРРВ), и при ретрансляции сигналов через ГС обычно применяется активный встречный алгоритм (ВА) (англ. термин – *two-way*) (см. рис. 2),

На рис. 1 и рис. 2 обозначены:  $H_a(t)$ ,  $H_b(t)$  – шкалы времени эталонов;  $\Delta T^{ab} = -\Delta T^{ba}$  – опорное значение (*reference value*) сдвига шкал;  $\tau_p^{oa}$ ,  $\tau_p^{ob}$ ,  $\tau_p^{ba}$ ,  $\tau_p^{ab}$  – значения задержек сигналов в канале РРВ;  $t_1^a$ ,  $t_1^b$ , – временные положения принятых в пунктах сигналов.

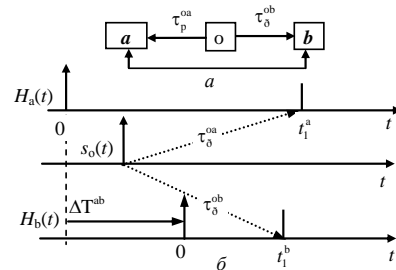


Рис. 1. Алгоритм общего охвата.  
Fig. 1. The overall coverage algorithm

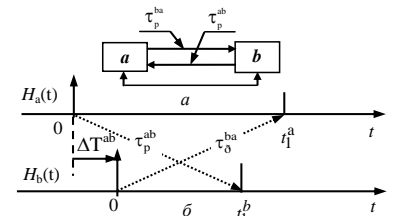


Рис. 2. Активный встречный алгоритм.  
Fig. 2. The active counter algorithm

Основным критерием качества синхронизации является точность оценивания сдвига шкал  $\Delta T^{ab} = -\Delta T^{ba}$ .

Кроме отличий опорных значений задержек сигналов в канале РРВ от их оценок, на точность влияют аналогичные отличия задержек сигналов в аппаратуре, а также помехи.

Полная погрешность для алгоритмов составит

$$\delta_{\Delta T}^{ab} = \Delta T^{ab} - \Delta T^{ab} = \delta_{\Delta T}^{ab}(\text{кан}) + \delta_{\Delta T}^{ab}(\text{ап}) + \delta_{\Delta T}^{ab}(\text{с/п}), \quad (1)$$

где  $\delta_{\Delta T}^{ab}(\text{кан})$ ,  $\delta_{\Delta T}^{ab}(\text{ап})$ ,  $\delta_{\Delta T}^{ab}(\text{с/п})$  – соответственно канальная, аппаратурная и помеховая слагаемые полной погрешности.

Слагаемые выражения (1) имеют вид:

$$\text{для АОО} \rightarrow \delta_{\Delta T}^{ab}(\text{кан}) = (\tau_p^{oa} - \hat{\tau}_p^{oa}) - (\tau_p^{ob} - \hat{\tau}_p^{ob});$$

$$\delta_{\Delta T}^{ab}(\text{ап}) = (\tau_{\text{прм}}^a - \hat{\tau}_{\text{прм}}^a) - (\tau_{\text{прм}}^b - \hat{\tau}_{\text{прм}}^b);$$

$$\delta_{\Delta T}^{ab}(\text{с/п}) = (\delta_t^a - \delta_t^b);$$

$$\text{для ВА} \rightarrow \delta_{\Delta T}^{ab}(\text{кан}) = 0,5[(\tau_p^{ab} - \hat{\tau}_p^{ab}) - (\tau_p^{ba} - \hat{\tau}_p^{ba})];$$

$$\delta_{\Delta T}^{ab}(\text{ап}) = 0,5(\tau_{\text{прм}}^a - \hat{\tau}_{\text{прм}}^a - \tau_{\text{прд}}^a + \hat{\tau}_{\text{прд}}^a - \tau_{\text{прм}}^b + \hat{\tau}_{\text{прм}}^b + \tau_{\text{прд}}^b - \hat{\tau}_{\text{прд}}^b);$$

$$\delta_{\Delta T}^{ab}(\text{с/п}) = 0,5(\delta_t^a - \delta_t^b),$$

где  $\hat{\tau}_{\text{прм}}^a$ ,  $\hat{\tau}_{\text{прд}}^b$ ,  $\hat{\tau}_{\text{прм}}^a$ ,  $\hat{\tau}_{\text{прд}}^b$ ,  $\hat{\tau}_p^{ab}$ ,  $\hat{\tau}_p^{ba}$ ,  $\hat{\tau}_p^{oa}$ ,  $\hat{\tau}_p^{ob}$  – оценки соответствующих задержек в аппаратуре и канале РРВ;  $\delta_t^a$ ,  $\delta_t^b$  – вызванные помехами погрешности оценок временного положения (ОВП) сигналов.

Учитывая случайный характер помех, помеховые погрешности можно оценить среднеквадратическими отклонениями (СКО):

$$\text{для АОО} \rightarrow \sigma_{\Delta T}^{ab}(c/\pi) = \sigma_{\Delta T}^{ba}(c/\pi) = \sqrt{(\sigma_t^a)^2 + (\sigma_t^b)^2};$$

$$\text{для ВА} \rightarrow \sigma_{\Delta T}^{ab}(c/\pi) = \sigma_{\Delta T}^{ba}(c/\pi) = 0,5\sqrt{(\sigma_t^a)^2 + (\sigma_t^b)^2},$$

где  $\sigma_t^a, \sigma_t^b$  – СКО ОВП сигналов в пунктах.

### III. Неопределенности синхронизации

Поскольку СКО помеховых погрешности определяются при статистической обработке результатов измерений, эти СКО соответствуют стандартной неопределенности типа **A** [7, 8]

$$u_{A/\Delta T}^{ab} = u_{A/\Delta T}^{ba}(\text{с/п}) = \sigma_{\Delta T}^{ab}(\text{с/п}) = \sigma_{\Delta T}^{ba}(\text{с/п}).$$

Канальную и аппаратную погрешности нельзя определить путем статистической обработки результатов измерений. Поэтому, согласно [7, 8], эти погрешности формируют неопределенность типа **B**.

Для оценки стандартной канальной неопределенности  $u_B(\text{кан})$  применимы модели канала РРВ, ПКЧ и другие независимые каналы калибровки (НКК), а для аппаратной неопределенности  $u_B(\text{ап})$  – измерения (пилотирование) аппаратных задержек (АЗ) или проведение измерений в режиме «нулевой базы» (аппаратура пунктов совмещается). Параметры неопределенностей типа **B** для РМС и метода «ГС+АОО» сведены в табл. 1 и 2.

Табл. 1. Неопределенности типа **B** для РМС  
Table 1. The uncertainties type **B** for RSM

Вид	Причины	Методы учета	
$u_B(\text{кан})$	Нестабильность и невязанность МРРВ	Модели, ПКЧ, НКК	[1]
$u_B(\text{ап})$	Невязанность задержек в АФУ	Модель	
	Температура, старение элементов и др.	Измерение АЗ, режим «нулевой базы»	

Табл. 2. Неопределенности типа **B** в методе «ГС+АОО»

Table 2. Type **B** uncertainty in the method of "GS + AOC"

Вид	Причины	Методы учета	
$u_B(\text{кан})$	Параметры ионосферы и тропосферы	Модели, ПКЧ, НКК	[4]
	Нутация ГС		[9]
	Многолучевость РРВ	Модель	
$u_B(\text{ап})$	Многолучевость в АФУ	Модель	[1]
	Температура, старение элементов и др.	Измерение АЗ, режим «нулевой базы»	

### IV. Заключение

СКО помеховой погрешности измерений совпадает со стандартной неопределенностью типа **A**.

Канальные и аппаратные погрешности относятся к неопределенностям типа **B**. Для их оценок применимы модели и дополнительные измерения, которые требуют совершенствования.

### V. Список литературы

- [1] Финкельштейн А. М. Фундаментальное координатно-временное обеспечение // Вестник Российской Академии наук, 2007, Т. 77, М 7, С. 608–617.
- [2] Миллс Д. Л. Сличение времени в компьютерных сетях: Протокол сетевого времени на Земле и в космосе: Пер. с англ. / под ред. А. В. Савчука. Киев: WIRCOM, 2011. 464 с.
- [3] Антипов И. Е., Коваль Ю. А., Обельченко В. В. Развитие теории и совершенствование радиометеорологических систем связи и синхронизации. Харьков: Коллегиум, 2006. 416 с.

- [4] Соловьев Ю. А. Системы спутниковой навигации. – М.: Эко-Трендз, 2001. 270 с.
- [5] Hanson D. W. Fundamentals of Two-Way Time Transfer by Satellite // Proc. of 43rd Annual Frequency Control Symposium, 1989. P. 174-178.
- [6] Нестеренко Г. В. и др. Патент 38167 (Украина). Способ частотно-временной синхронизации пространственно разнесенных эталонов и стандартов времени и частоты. Опубл. в Б. И. 2008. № 24.
- [7] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: First edition. ISO, Switzerland, 1993.
- [8] РМГ 91-2009. ГСИ. Совместное использование понятий "погрешность измерения" и "неопределенность измерения". Общие принципы.
- [9] Погрешности частотно-временной синхронизации при использовании сигналов телекоммуникационных геостационарных спутников с учетом модели их перемещения / Е. А. Иванова и др. // Восточно – Европейский журнал передовых технологий. 2009. №. 4/10 (40). С. 25–29.

## EVALUATION OF ERRORS AND UNCERTAINTIES OF MEASUREMENT IN SYNC SYSTEMS

Koval Y. A., Kostyrja A. A., Pryimak V. Y., Al-Tvezhri B. A.  
Kharkiv National University of Radio Electronics  
14, Ave. Lenin, Kharkiv, 61166  
Ph.: 702-14-30, e-mail: koval1934@mail.ru

*Abstract* — The basic method of synchronization are considered and the analysis of their algorithms is conducted. The analysis of their algorithm has been carried out. Correlation is given for estimating the shift of scales for standards and errors of basic algorithms. Classification is presented and the methods of estimating measurement uncertainties are proposed.

### I Introduction

At present there is the large number of methods of synchronization of time and frequency standards. A comparison of methods of synchronization is possible only in the development of identical methods of calculation of errors, and now we have the uncertainties of measurement of scale changes [7, 8]. The present paper is devoted to developing the main approaches to solving this problem.

### II, III Main Part

A special role in analyzing and comparing the matching system against accuracy and other indexes is played by measurement algorithms – the procedure for exchanging signals between the standards being matched, which upon using the signal delay time in the PPB channel and equipment provides for measurement of the shift scale.

Algorithms of comparison in terms of emission signals in paragraphs accommodation standards can be divided into two types:

- 1) a passive overall coverage algorithm (the English version: "common-view"), based on reception at signal points in a common source of  $S_0(t)$  (see Fig. 1);
- 2) the group of active algorithms, which have the emission signals in each of the items.

The overall accuracy for the algorithms will be

$$\delta_{\text{с} \Delta T}^{ab} = \Delta T^{ab} - \Delta T^{ab} = \delta_{\Delta T}^{ab}(\text{кан}) + \delta_{\Delta T}^{ab}(\text{ап}) + \delta_{\Delta T}^{ab}(\text{с/п}), \quad (1)$$

Given the random nature of noise, interference errors can be estimated by standard deviations.

Since the standard deviation of interference errors are determined by statistical processing of measurement results, they correspond to the standard deviation of uncertainty of type **A** [7, 8].

### IV. Conclusion

Standard deviation of measurement error interference coincides with the standard uncertainty of type **A**. Channel and the instrumental errors are uncertainties of type **B**. For their estimates the model and additional measurements that need improvement are applied.