

# Общая структура определения погрешностей шкалы времени и параметров движения беспилотных летательных аппаратов для локальной системы высокоточной навигации

**The general structure of the determination of errors of the time scale and motion parameters of unmanned aerial vehicles for the local high-precision navigation system**

**Ключевые слова:** погрешности шкалы времени – the errors of time scale; параметры движения беспилотных летательных аппаратов – the parameters of movement of unmanned aerial vehicles; локальная система высокоточной навигации – the local high-precision navigation system.

В статье приведена упрощённая схема шкалы времени, которая позволяет создать условия для качественного учёта в виде исходных данных к решению задач определения погрешностей шкалы времени и параметров движения беспилотных летательных аппаратов с учётом приведённых взаимосвязей для объектов локальной системы высокоточной навигации.

The article provides the simplified scheme of the time scale that allows the creation of conditions for qualitative account in the form of raw data to the solution of the problem of determining the errors of the time scale and motion parameters of unmanned aerial vehicles, based on the relationships for objects of the local system of high-precision navigation.

Анализ практических подходов к позиционированию и определению погрешностей шкал времени беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) показал, что используемые сигналы спутниковых радионавигационных систем имеют малые мощности и могут быть подвержены воздействиям естественных и преднамеренных помех. Для повышения функциональной устойчивости БПЛА в рамках заданной территории могут быть развернуты локальные навигационные системы (ЛНС), в том числе, локальные системы высокоточной

**ОСАДЧИЙ / OSADCHIY S.**

**Сергей Александрович**

(spb.sos@hotmail.com)

ведущий инженер,

Санкт-Петербургский филиал «Ленинградское отделение центрального научно-исследовательского института связи»,  
Санкт-Петербург

**ПЕТРИЧЕНКО / PETRICHENKO A.**

**Анатолий Константинович**

(synchro@loniis.org)

начальник центра,

Санкт-Петербургский филиал «Ленинградское отделение центрального научно-исследовательского института связи»,  
Санкт-Петербург

**ЯСИНСКИЙ / JASINSKII S.**

**Сергей Александрович**

(yasinsky777@mail.ru)

доктор технических наук, доцент,

главный научный сотрудник,

Санкт-Петербургский филиал «Ленинградское отделение центрального научно-исследовательского института связи»,  
Санкт-Петербург

навигации (ЛСВН), которые в меньшей степени подвержены воздействиям преднамеренных помех, а их сигналы во много раз превышают мощности сигналов спутниковых радионавигационных систем.

Для развёртывания наиболее экономичной ЛСВН целесообразно в качестве станционной наземной базы (СНБ) навигации использовать одну ведущую и две ведомые станции навигации, которые в совокупности обеспечивают позиционирование и формируют системную шкалу времени для синхронизации каждого из БПЛА.

# ИНФОКОММУНИКАЦИИ



**Рис. 1.** Общая структура взаимосвязей между шкалой времени, уровнями протокола обмена, рассчитываемыми погрешностями шкалы времени и параметрами движения БПЛА

Обмен информацией в ЛСВН производится с использованием специально разработанного протокола обмена сообщениями, содержащими синхронизирующие последовательности, то есть синхросигналы (СС). В качестве общего канала передачи СС в ЛСВН используется радиоканал, в котором существенным параметром для оценки качества, влияющим на точность синхронизации и позиционирования, является вариация скорости распространения радиоволн в зависимости от меняющихся метеоусловий. Высокоприоритетные сообщения передаются в строго определённые промежутки времени, что позволяет обеспечить защиту от наложений сигналов, и делает возможным их раздельную обработку. Высокоприоритетные сообщения группируются, согласно временному плану (алгоритму) в группы (транзакции), позволяющие определить все необходимые параметры движения объектов и синхронизировать шкалы времени. Механизм образования транзакций не использует данные, полученные в результате обработки предыдущих сообщений, что позволяет в кратчайшее время восстановить работоспособность ЛСВН после сбоев и обеспечить работу в условиях сложной помеховой обстановки.

На рис. 1 приведена общая структура взаимосвязей между шкалой времени, уровнями протокола обмена, рассчитываемыми погрешностями шкалы времени и параметрами движения БПЛА [1].

Из рис. 1 видно, что для расчёта погрешностей шкалы времени и параметров движения БПЛА в качестве исходных данных должны быть использованы результаты измерений моментов времени приёма и передачи СС.

Общая структура определения погрешностей шкалы времени и параметров движения (текущие

координаты, скорость движения и ускорение) БПЛА приведена на рис. 2 [1].

Моменты времени приема и передачи сигналов на каждом из объектов ЛСВН (на станциях СНБ и на БПЛА) фиксируются по шкале времени каждого объекта.

Погрешности шкалы времени каждого из объектов ЛСВН и соответственно погрешности определения моментов времени условно можно разделить на три составляющих.

Первая составляющая – это погрешность установки начала отсчетов по шкале времени относительно первичной шкалы времени ЛСВН. Эта погрешность в предлагаемом варианте ЛСВН не оказывает существенного влияния на определение параметров движения БПЛА. Однако эта составляющая погрешности должна компенсироваться для того, чтобы обеспечить стабильность алгоритма функционирования ЛСВН и стабильность параметров транзакций.

Вторая составляющая связана с разностью частот задающих генераторов на объектах ЛСВН. Эта составляющая влияет на изменение величины первой составляющей от одной транзакции к другой. Также, при достижении разностью частот некоторых значений, которые будут определены далее, эта погрешность оказывает влияние на определение параметров движения БПЛА.

Третья составляющая погрешности определения моментов времени связана с особенностями реализации шкал времени на цифровых элементах. Это приводит к появлению случайных составляющих в погрешности определения моментов времени.

Шкалы времени на каждом из объектов ЛСВН не являются непрерывными. Это объясняется особенностями реализации шкал времени. Упроще-

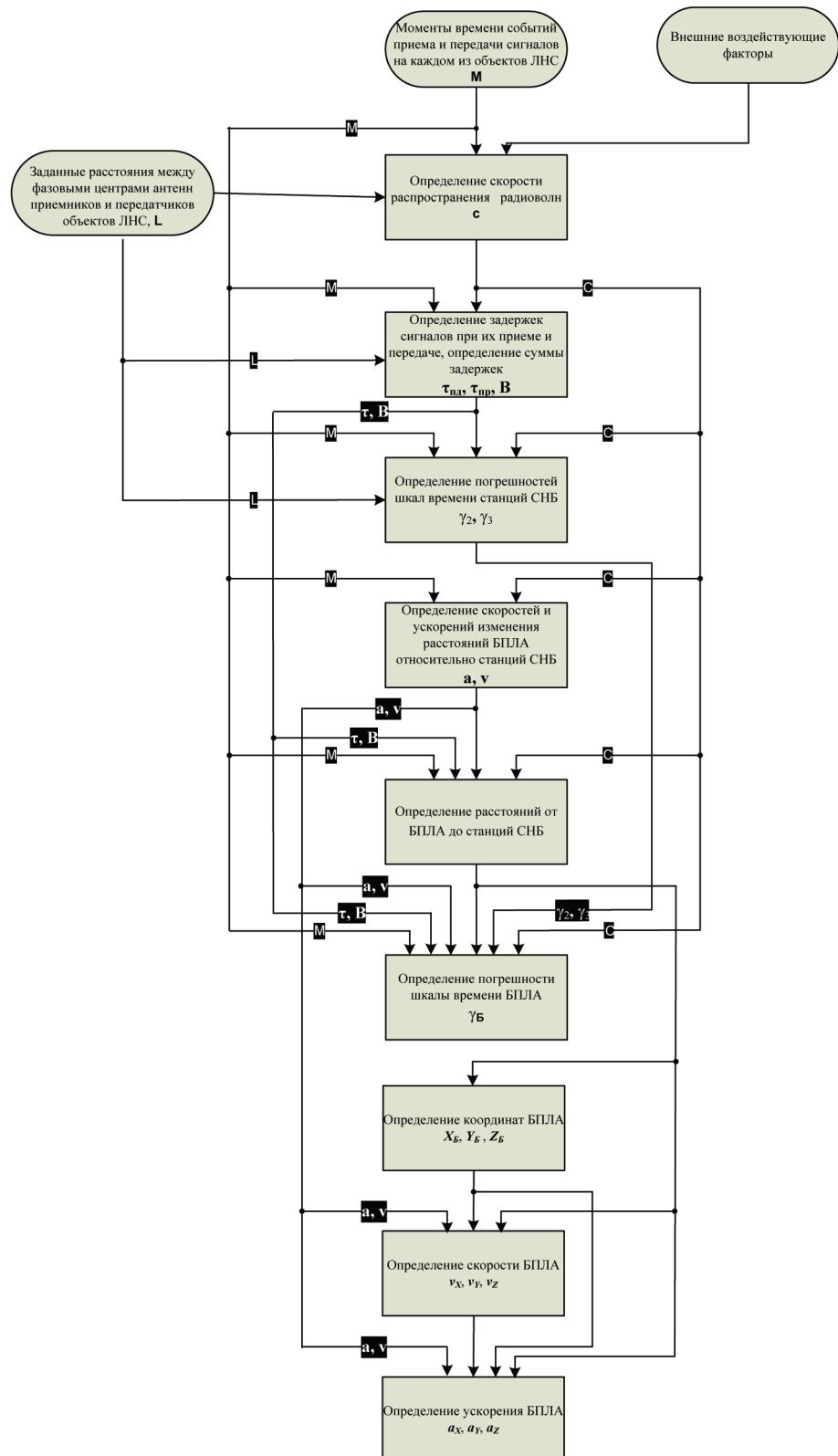


Рис. 2. Общая структура определения погрешностей шкалы времени и параметров движения БПЛА

# ИНФОКОММУНИКАЦИИ

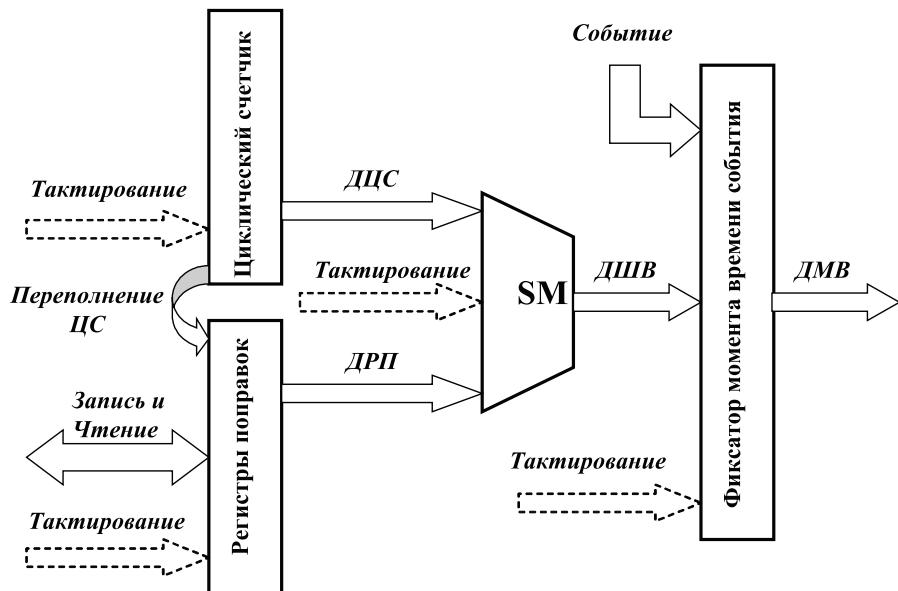


Рис. 3. Упрощённая схема построения шкалы времени

щённая схема построения шкалы времени приведена на рис. 3 [1].

Основными блоками упрощённого варианта шкалы времени являются: циклический счётчик (ЦС), регистры поправок (РП) и сумматор (SM). Все блоки шкалы времени работают в синхронном режиме (тактируются), чтобы избежать ошибок при автоматической или процессорной коррекции поправок, а также при суммировании данных циклического счётчика (ДЦС) и данных регистров поправок (ДРП).

Данные шкалы времени (ДШВ) и данные момента времени события (ДМВ), полученные фиксатором момента времени события, будут изменяться скачками, в соответствии с периодом сигнала тактирования ЦС.

Допустим, что период сигнала тактирования составляет 1 наносекунду и в точности соответствует номинальному значению. В этом случае погрешность ДМВ, в зависимости от момента прихода сигнала о событии, будет изменяться по «пилообразному» закону. Наиболее приемлемым можно считать случай, когда интегральное значение погрешности ДМВ совпадает с нулевым значением. Для того, чтобы обеспечить такую симметрию погрешности ДМВ относительно нулевого значения, необходимо, чтобы ДРП обеспечивали смещение ДШВ и ДМВ на доли наносекунды. То есть, разрешающая способность ДРП, ДШВ и ДМВ должна быть лучше, чем период сигнала тактирования. Это объясняется также и тем, что ДРП должны компен-

сировать не только собственные погрешности шкалы времени, но и погрешности, связанные с изменением воздействий внешних факторов, которые никак не связаны с периодом тактирования блоков шкалы времени.

Следовательно, погрешности определения моментов времени событий приёма и передачи сигналов на объектах ЛСВН будут зависеть от времени наступления события. Погрешность будет содержать условно постоянную за время транзакции составляющую и составляющую, изменяющуюся по пилообразному закону с размахом, равным периоду сигнала тактирования шкалы времени и фиксатора моментов времени. Также, погрешность определения моментов времени событий приёма и передачи сигналов на объектах ЛСВН может содержать составляющую, связанную с отклонением частоты задающего генератора.

Таким образом, в результате реализации приведённой на рис. 3 шкалы времени создаются условия для качественного учёта в виде исходных данных к решению задач определения (расчёта) погрешностей шкалы времени и параметров движения БПЛА (рис. 2) с учётом приведённых взаимосвязей для объектов ЛСВН на рис. 1.

## Литература

- Научно-технический отчёт о составной части научно-исследовательской работы «Арава-ИС». – СПб.: Филиал ФГУП ЦНИИС-ЛО ЦНИИС, 2012. – 205 с.