

СИСТЕМЫ ЕДИНОВОГО ВРЕМЕНИ: причины возникновения ошибок при длительном использовании аппаратуры и их устранение

О.Маслова, научный сотрудник НИЦ измерений, математической обработки и информационного обмена / vidjina89@yandex.ru,
Л.Лаврентьева, научный сотрудник НИЦ измерений, математической обработки и информационного обмена

УДК 623.618.3:521.9, DOI: 10.22184/2070-8963.2019.84.7.48.51

Оптимизация процедур передачи сигналов времени и их привязки к системе единого времени в немалой степени связана с решением проблемы ошибок временной привязки при длительном использовании аппаратуры. Применение новых способов коррекции ошибок позволяет уменьшить погрешности сигналов времени до десятков наносекунд, обеспечивая более высокие точности измерений различных измерительных средств.

Как известно, для синхронизации измерений, осуществляемых с применением различных измерительных средств (ИС), проводится временная привязка ИС к системе единого времени (СЕВ).

В процессе создания СЕВ высокой точности еще в 1960-е годы удалось реализовать метод взаимозаменяемости ее элементов, когда выход из строя или неблагоприятное изменение характеристик одних элементов мог бы немедленно компенсироваться возможностями других на всех уровнях функционирования системы. Решение проблемы помехозащищенности и устойчивости СЕВ осуществлялось за счет избыточности и рассредоточенности ее средств и объектов, физической защищенности, автономности и стойкости основных элементов системы. 22 сентября 1978 года вышло постановление ЦК КПСС и СМ СССР о создании Государственной системы единого времени

и эталонных частот (ГСЕВЭЧ) Министерства обороны СССР. Вместе с совершенствованием и модернизацией космической навигационной системы (КНС) ГЛОНАСС до уровня "Глонасс-М", а затем "Глонасс-К", продолжает совершенствоваться и ГСЕВЭЧ в части передачи сигналов времени через навигационные космические аппараты. Так, в составе оперативной информации космические навигационные системы передают поправки, позволяющие потребителям осуществлять синхронизацию своих часов либо по шкале времени системы ГЛОНАСС, либо по шкале Всемирного Координированного времени, либо по шкале Всемирного атомного времени.

В настоящее время спутниковые радионавигационные системы являются наиболее точным средством определения местоположения и передачи точного времени в глобальном масштабе, позволяя потребителям получать

координаты с погрешностью порядка нескольких метров, а время – с погрешностью порядка десятка наносекунд [1]. При этом способ современной организации СЕВ имеет ряд недостатков, включая риски и уязвимости КНС.

Несмотря на активную и непрерывную работу по модернизации и совершенствованию процессов и процедур передачи сигналов времени и их привязки к СЕВ, по-прежнему высокую актуальность сохраняет решение проблемы ошибок временной привязки при длительном использовании аппаратуры.

Так, для проведения временной привязки измерительных средств на каждом измерительном пункте установлена соответствующая аппаратура, которая получает эталонный сигнал либо по радиоканалу от эталонных источников системы СЕВ, либо от сигналов системы ГЛОНАСС. После получения эталонного сигнала формируется с использованием аппаратного комплекса временная шкала, которая выдается для привязки на различные измерительные средства. В свою очередь, частотно-временное обеспечение потребителей осуществляется при помощи комплекса СЕВ, который представляет собой совокупность приемных пунктов СЕВ, связанных и не связанных командно-информационными каналами.

Несмотря на значительный технологический прогресс, организация СЕВ имеет ряд недостатков, включая риски и уязвимости ИС, что подчеркивают исследователи: "Несмотря на теперь уже всем известные достоинства спутниковой связи и навигации, профессиональное сообщество в полной мере осознает проблему уязвимости государства, базовые и критические технологии которого основаны исключительно на возможностях спутниковых систем" [2]. Связано это с невысокой живучестью спутниковой группировки при сравнительно высокой ее стоимости, с недостаточной помехозащищенностью спутниковых сигналов и невозможностью их приема вне прямой радиовидимости спутников. При этом высокую актуальность сохраняет решение проблемы ошибок временной привязки при длительном использовании аппаратуры.

На практике применяется несколько способов определения временного сдвига относительно шкалы СЕВ:

- путем сравнения регистрации времени старта изделия, отображенного на кадре видеофильма или видеокамеры, привязанных по сигналам КНС;

- по так называемым "характерным" точкам, в качестве которых принимаются: яркое свечение (вспышка), бледное свечение (затухание), время срабатывания боевого оснащения ЗУР (подрыв), а контроль временной привязки всех приборов осуществляется с учетом времени появления "характерной" точки с разных измерительных пунктов;
- с использованием математического аппарата, путем оценки характеристик погрешности для распределенных и нестандартных параметров условий испытаний.

В ходе проверки технологической дисциплины при проведении сеансов измерений СЕВ неоднократно выявлены погрешности временной привязки измерений к шкале СЕВ. Измерение расхождения выходных сигналов аппаратуры в течение 15 ч представлено на рис.1. Из полученных данных видно, что имеют место характерные ошибочные коррекции СЕВ.

Как показывает опыт, основные причины возникновения ошибок при длительном использовании аппаратуры – это эксплуатация средств в условиях запредельных плюсовых и минусовых температур, которая привела к существенному ухудшению эксплуатационных параметров и метрологических характеристик, сокращению срока службы и появлению многочисленных неисправностей.

Существенно повысить точность временной синхронизации позволяет проведение метрологических работ по калибровке канала. В ходе калибровки канала связи производится устранение асимметрии задержки прохождения сигналов времени в прямом и обратном направлении, что дает возможность обеспечения сигналами времени с неопределенностью, не превышающей десятка микросекунд. Калибровка может производиться с помощью возимого квантового стандарта или спутниковыми методами сличений удаленных шкал времени.

Приближение к максимальной точности передачи сигналов времени требует устранения температурного влияния на СЕВ. Специфика работы оборудования не позволяет этого сделать без комплексного организационного перестроения измерительного комплекса на основе организации режима взаимной синхронизации ИС. Более простым способом является использование измерительных технологий, а также технологий передачи данных измерений, в которых

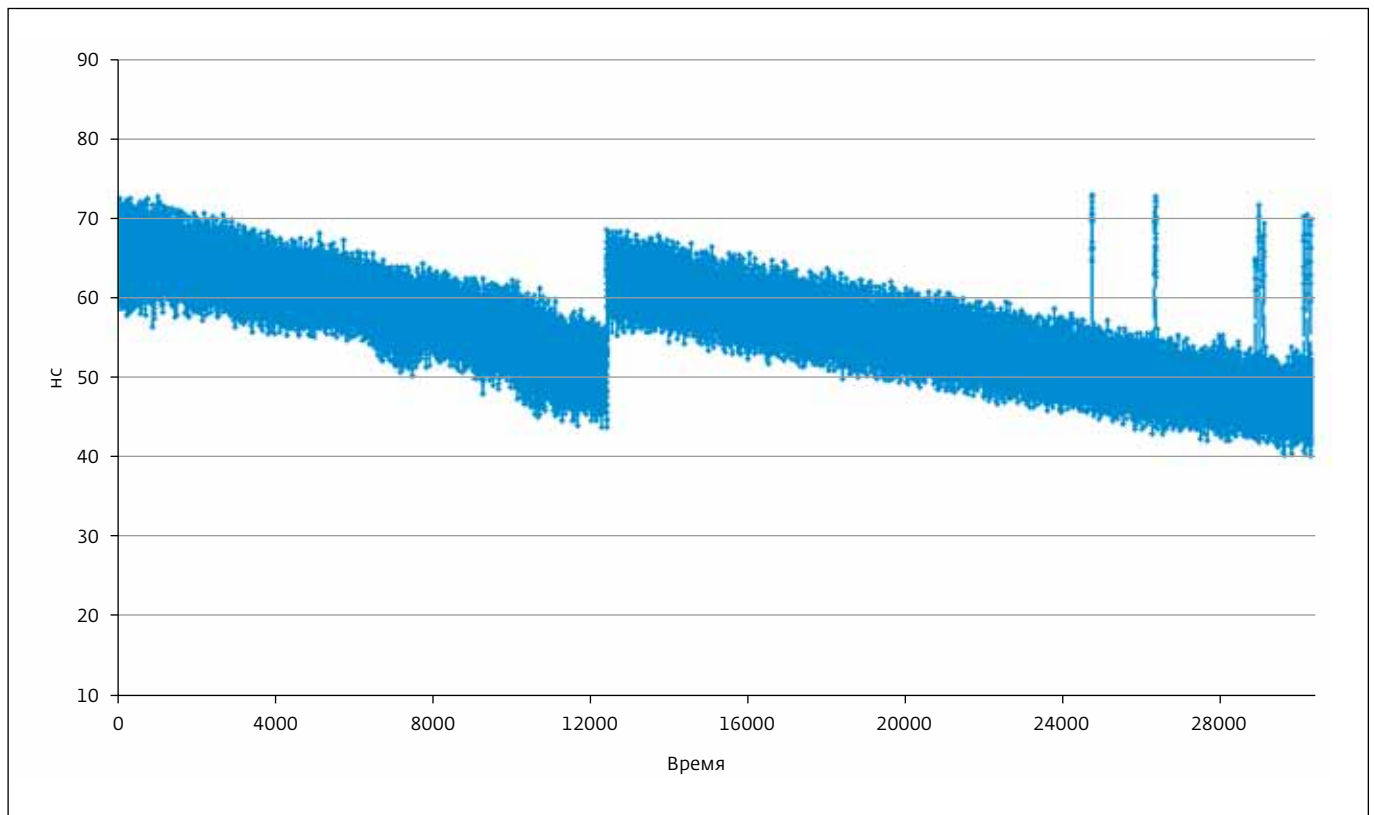


Рис.1. Результаты измерения расхождений выходных сигналов аппаратуры потребителя

температурное влияние на ИС устраняется автоматически.

Как показывают отдельные исследования [3], устранение ошибок измерительных комплексов также возможно путем использования современных контроллеров привязки (в одном из предлагаемых модулей диапазон рабочих температур составляет $-40...85^{\circ}\text{C}$, в модуле используется пассивное охлаждение, отсутствуют движущиеся части).

Основой для хранения единого времени в отсутствие сигналов СЕВ в упомянутом решении является термостатированный кварцевый генератор с номинальной частотой 10,000000 МГц, нестабильностью частоты от температуры $\pm 1 \cdot 10^{-10}$, долговременной нестабильностью частоты за сутки $\pm 0,5 \cdot 10^{-9}$, долговременной нестабильностью частоты за первый год $\pm 50 \cdot 10^{-9}$ и с возможностью точной подстройки частоты управляющим напряжением.

На основе частоты, вырабатываемой термостатированным кварцевым генератором, в изделии ведется наносекундный счетчик времени, имеющий цену младшего разряда 1 нс, разрядность 64 бита и в текущей реализации

обеспечивающий разрешающую способность 200 нс (то есть инкрементируемый каждые 200 нс частотой кварцевого генератора). Этот счетчик хранит привязанное к СЕВ время суток, исчисляемое от полуночи, и обеспечивает в ходе штатной эксплуатации изделия погрешность привязки к СЕВ не хуже 1 мкс в случае устойчивого поступления меток СЕВ и не хуже 10 мкс в случае отдельных некритических сбоев поступления меток.

Данное изделие после первоначальной привязки к СЕВ допускает отсутствие до 9-минутных меток СЕВ подряд. После отсутствия 10-минутных меток СЕВ подряд или в случае сдвига фронта метки СЕВ на величину более 10 мкс от момента истечения кратного минуте интервала после фронта предыдущей метки изделие фиксирует выход из синхронизации с СЕВ и перестает обеспечивать точную синхронизацию времени.

В изделии предусмотрен отдельный вход для эталонной частоты СЕВ 100 кГц, которая может использоваться для калибровки кварцевого генератора. Изделие обеспечивает синхронизацию времени в собственном сервере NTP с погрешностью не хуже 1 мс [3].

С 2014 года для частотно-временного обеспечения потребителей используется изделие 14Б765, предназначенное для формирования, хранения и привязки шкалы времени, выдачи потребителям набора сигналов и кодов оцифровки времени, синхронизированных с координированной шкалой времени UTC (SU), а также для регистрации и выдачи стартовых сигналов.

Изделие 14Б765 предназначено для работы в диапазоне температур среды $-50...60$ °С, относительной влажности 80% при температуре среды 25 °С. Обеспечивает в режиме автоматического управления частотой и шкалой времени предельную погрешность синхронизации шкалы времени не более 1 мкс, относительную погрешность опорного генератора по частоте не более $\pm 5 \cdot 10^{-12}$ за 1 сутки. В режиме автономного функционирования изделие обеспечивает предельную погрешность автономного хранения шкалы времени не более 100 мкс за 30 суток.

В состав изделия входит модуль 14Б763-БМС (базовый модуль синхронизации), имеющий двухканальную структуру. Канал 1 формирования и хранения шкалы времени построен на устройстве синхронизации стандарта частоты и устройстве усиления сигналов, а канал 2 – на устройстве синхронизации кварцевого генератора и устройстве усиления сигналов. Шкала времени канала 1 формируется на основе сигнала рубидиевого стандарта частоты, входящего в состав БМС, а шкала времени канала 2 – на основе сигнала встроенного кварцевого генератора. В автоматическом режиме работы шкалы времени каналов 1 и 2 синхронизируются со шкалой UTC (SU) по сигналам космических навигационных систем.

Опорный сигнал частотой 5 МГц от рубидиевого стандарта частоты либо от кварцевого генератора поступает на синхронизатор и делится до частот 1 МГц и 1 Гц. При этом имеется возможность по команде микроконтроллера сдвигать полученную шкалу времени с шагом ± 200 нс, а также устанавливать ее в зависимости от положения коммутатора по метке 1 Гц от устройства приема космических навигационных сигналов, устройства синхронизации стандарта частоты или от других источников.

Инновация, предложенная в исследовании [3] и примененная в изделии 14Б765, рекомендована к использованию как основа для проектных разработок по устранению ошибок

в эксплуатации СЕВ, при этом изделие целесообразно адаптировать к конфигурации СЕВ. Задержки радиосигнала в аппаратуре приемников СЕВ должны измеряться при вводе их в эксплуатацию, контролироваться в процессе эксплуатации и учитываться при синхронизации шкалы времени СЕВ по сигналам от ГЛОНАСС. Максимальное значение недетерминированной составляющей групповой задержки радиосигнала не должно превышать ± 2 нс [4].

Указанные способы могут позволить уменьшить неопределенность сигналов времени на стороне потребителя до десятков наносекунд.

Таким образом, можно сделать вывод: проблема ошибок в системах единого времени при длительном использовании аппаратуры объективно существует, и ее устранение требует проведения комплекса организационных и технических мероприятий, включая метрологические работы по калибровке канала, организационного перестроения СЕВ либо использования измерительных технологий и технологий передачи данных с автоматическим устранением влияния температур. Перспективным направлением также видится методология устранения ошибок СЕВ путем использования современных контроллеров привязки.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Филимонов С.** Использование сигналов ГЛОНАСС в системе единого точного времени на сети связи общего пользования // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2011. № 6. С. 24–28.
2. **Брыксенков А.А.** Геополитика и информационная безопасность в Арктическом регионе РФ // Труды научно-исследовательского отдела Института военной истории. Т. 9. Кн. 1. Обеспечение национальных интересов России в Арктике / Зап. воен. округ, Воен. акад. Ген. штаба Вооружен. Сил РФ, Ин-т воен. истории, Гос. полярн. акад. – СПб: Политехника-сервис, 2014. С. 168–173.
3. **Румянцев В., Сиверский О., Соколовский В., Яковлев А.** Контроллеры привязки измеряемых параметров к единому времени // СТА. 2013. № 3. С. 62–63.
4. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. Навигационный радиосигнал в диапазонах L1, L2 с открытым доступом и частотным разделением (редакция 5.1). – М.: РНИИ КП, 2008.