

УДК 621.396

**Предложения по основным направлениям модернизации системы
единого времени наземного автоматизированного комплекса
управления космическими аппаратами**

Ковальский А.А.* , Афонин Г.И. , Терещенко С.В.*****

*Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского,
ул. Ждановская, 13, Санкт-Петербург, 197198, Россия*

**e-mail: sake636@mail.ru*

***e-mail: csm@nm.ru*

****e-mail: testudo@bk.ru*

Аннотация

Статья посвящена вопросам совершенствования систем единого времени с целью обеспечения непрерывного и устойчивого управления космическими аппаратами. Рассмотрены основные направления модернизации системы единого времени наземного автоматизированного комплекса управления космическими аппаратами, а также особенности и перспективы реализации систем единого времени при использовании каналов передачи данных систем спутниковой связи «Приморка» и спутниковой навигационной системы «Глонасс». Показано, что использование этих систем позволяет осуществлять синхронизацию наземных автоматизированных комплексов управления космическими аппаратами с заданной точностью при выполнении требований к устойчивости и непрерывности при минимальных финансовых затратах.

Ключевые слова: система единого времени, наземный автоматизированный комплекс управления, система спутниковой связи, спутниковая навигационная система, синхронизация.

Введение

В разных областях деятельности существует потребность в стандартных сигналах времени и стандартных частотах (СВСЧ). В зависимости от целей применения уровни точности и достоверности, например, СВ, могут находиться в диапазоне от 10^{-9} до 1 с.

Для обеспечения потребителей СВСЧ успешно применяются различные системы и службы. В их состав входят как специализированные (так называемые национальные службы времени и частоты), так и многие другие, не предназначенные специально для этих целей, в частности, системы навигации и связи.

Для НАКУ КА также существует необходимость синхронизации по частоте и времени технологических и информационных процессов на различных объектах, в службах, системах передачи информации и наземных автоматизированных комплексах управления. Различным пользователям требуются СВСЧ с заданной точностью.

Синхронизация по частоте обычно нужна для систем передачи информации, измерительных систем, систем обработки данных и др. Синхронизация по времени – для хронометрирования событий в автоматизированных системах, часофикации объектов, электронного документооборота, а также обеспечения метками времени

различных процессов, требующих привязку событий к шкале координированного времени государственного первичного эталона Российской Федерации – UTC (SU).

Сегодня задачи частотно-временной синхронизации решаются автономно для каждой системы, что является технически и экономически малоэффективным. Следовательно, при большом количестве потребителей СВЧ НАКУ КА целесообразно развертывание универсальной СЕВ, которая будет представлять собой комплекс аппаратно-программных средств, обеспечивающий синхронизацию времени технологических и информационных процессов на всей территориально-распределенной системе НАКУ КА.

Назначение и состав системы единого времени НАКУ КА

Под системой единого времени (СЕВ) часто понимают локальные хронометрические системы, осуществляющие, например, часофикацию предприятия или синхронизацию деятельности лаборатории или программно-технического комплекса по времени. СЕВ предназначена для временной синхронизации работы всех элементов НАКУ КА и представляет собой автоматизированный территориально-распределенный комплекс программно-технических средств, осуществляющих воспроизведение, хранение единиц времени и частоты, выдачу сигналов времени (СВ) с заданной точностью, соответствующих шкале координированного времени Российской Федерации, а также стандартных частот.

СЕВ включает в себя центральный пункт СЕВ и местные пункты, расположенные на специальных территориально-распределенных объектах. Центральный пункт является источником первичных сигналов СЕВ, образуемых на

основе высокостабильных хронизаторов. Сигналы центрального пункта СЕВ с помощью средств связи передаются на местные пункты, где они используются для синхронизации местных эталонов частоты. Сигналы последних, в свою очередь, передаются на оконечные средства НАКУ КА, где осуществляют синхронизацию их работы. В настоящее время в составе пунктов СЕВ НАКУ используются местные эталоны частоты на основе квантовых стандартов с относительной суточной нестабильностью 10^{-12} – 10^{-13} с.

Гражданским точным временем в большинстве стран мира, включая Россию, является координированное время, воспроизводимое национальным эталоном. В России источником сигналов точного времени служат государственные эталоны Госстандарта. Для передачи единиц времени пользователю применяются различные телекоммуникационные средства, включая радиостанции, НСС, сети передачи данных, телефонные линии и др.

Известно, что при распространении СВ по линиям передачи происходит их задержка, из-за чего информация о времени может поступить к пользователю с некоторым опозданием. Применяются различные методы компенсации задержки.

В зависимости от применяемых средств и методов распространения СВ обеспечивается их различная точность. Она характеризуется величиной отклонения (погрешностью) получаемого значения времени от соответствующего значения времени эталона. Точность сигналов является одной из важнейших характеристик СЕВ.

Рассмотрим методы и средства распространения сигналов времени от эталонного источника до пользователя, а также средства формирования и хранения шкалы времени, на основе которых целесообразно построение СЕВ.

Методы распространения сигналов времени

Существуют два основных метода распространения СВ от источника до пользователя: передача в одном направлении (симплексная) и двунаправленная (дуплексная).

При первом методе погрешность получаемых СВ определяется задержкой сигнала в оборудовании и среде передачи. Задержка сигнала в среде передачи (радиоэфире, электрическом кабеле, оптическом волокне) зависит от скорости его распространения в этой среде и линейно возрастает с увеличением длины соединения. При известной длине соединения и величине задержки, вносимой оборудованием, задержка распространения сигнала может быть компенсирована на стороне пользователя.

Преимущество метода заключается в простоте его реализации, существенный недостаток – зависимость скорости распространения сигнала от температуры в некоторых средах передачи. К тому же задержку сигнала, вносимую оборудованием на передающем и приемном концах, довольно трудно оценить или измерить. Но в нашем случае, для передачи сигналов синхронизации мы будем использовать каналы спутниковой связи системы «Приморка», то данных недостатков возможно избежать, а задержка по спутниковому каналу равна около 250 мс.

При втором методе задержка получаемых СВ компенсируется по данным измерения так называемой круговой задержки сигнала – времени распространения сигнала в последовательно включенных каналах прямого и обратного направления.

Достоинство метода заключается в его высокой точности, недостаток определяется неравенством задержек распространения сигнала в прямом и обратном направлениях (асимметрия задержек). Из-за этого шкала времени пользователя приобретает погрешность относительно шкалы источника, равную половине асимметрии задержек. Асимметрию задержек формируют как линии связи, так и оборудование систем передачи.

Относительно применения рассмотренных методов можно сказать, что однонаправленное распространение сигналов используется в основном в радиосистемах (радиостанции, НСС), двунаправленное – в проводных (фиксированных) системах связи, а также в системах TWSTFT (Two-way Satellite Time and Frequency Transfer – двунаправленная спутниковая передача времени и частоты).

Двухпутевой метод (ДПМ) сличения шкал времени (ШВ) используется ведущими лабораториями времени мира для проведения высокоточных взаимных сличений ШВ, при этом для пространственно удаленных ШВ используется дуплексный метод с ретрансляцией через спутник-ретранслятор (СР) на геостационарной орбите (ГСО).

На рисунке 1, приведенном ниже, поясняется технология сличения ШВ ДПМ с использованием земных станций (ЗС) и СР на ГСО.

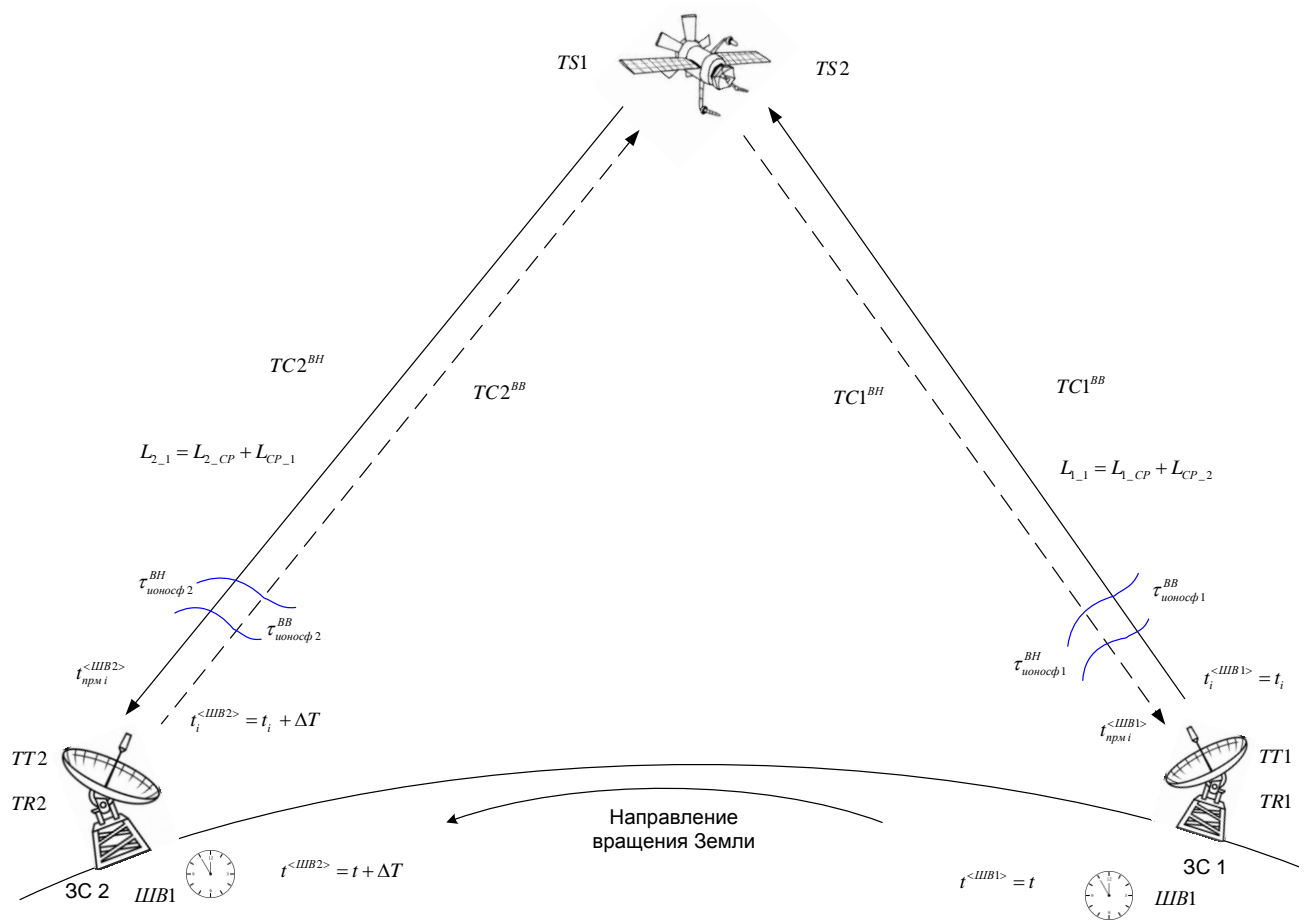


Рисунок 1 – Схема сличения ШВ ДПМ с использованием СР на ГСО

Применение СР на ГСО и дуплексный способ обеспечивают высокую инвариантность канала передачи сигналов сличаемых ШВ за счет единой геометрии путей распространения сигналов и неизменности состояния среды распространения, в первую очередь, тропосферы и ионосферы на интервале единичных сличений и, соответственно, высокие потенциальные возможности сличения ШВ.

Уравнение определяющее время (момента события) прихода сигнала ШВ1 на приемную сторону ШВ2:

$$\begin{aligned}
 t_{прм i}^{<ШВ2>} = & \frac{L_{1,2}(t_i)}{c} + t_i + \Delta T + [TT1(t_i) + TR2(t_i)] + TC_{1,2}(t_i) + \\
 & + \tau_{рел. грав.1,2}(t_i) + TS1(t_i) + \tau_{ионосф.1,2}(t_i) + \tau_{троп.1,2}(t_i)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Уравнение определяющее время (момента события) прихода сигнала ШВ2 на приемную сторону ШВ1:

$$t_{\text{прм}i}^{<ШВ1>} = \frac{L_{2_1}(t_i)}{c} + t_i - \Delta T + [TT2(t_i) + TR1(t_i)] + TC_{2_1}(t_i) + \tau_{\text{рел. грав. 2_1}}(t_i) + TS2(t_i) + \tau_{\text{ионосф. 2_1}}(t_i) + \tau_{\text{троп. 2_1}}(t_i), \quad (2)$$

где:

$$t^{<ШВ1>} = t - \text{ШВ1} - \text{ведущая};$$

$$t^{<ШВ2>} = t + \Delta T - \text{ШВ2} - \text{ведомая};$$

ΔT – расхождение ШВ1 и ШВ2;

$$t_i^{<ШВ1>} = t_i - \text{время (момент события) излучения сигнала ШВ1};$$

$$t_i^{<ШВ2>} = t_i + \Delta T - \text{время (момент события) излучения сигнала ШВ2};$$

$$t_{\text{прм}i}^{<ШВ2>} - \text{время (момент события) прихода сигнала ШВ1 на приемную сторону}$$

ШВ2;

$$t_{\text{прм}i}^{<ШВ1>} - \text{время (момент события) прихода сигнала ШВ2 на приемную сторону}$$

ШВ1;

$$t_{\text{прм}i}^{<ШВ2>} - t_i = \tau_{ШВ1} - \text{задержка сигнала ШВ1 в канале распространения, измеряется}$$

измерителем интервалов времени (ИИВ) на приемной стороне ШВ2 (беззапросная дальность с коэффициентом $1/c$ на момент времени t_i);

$$t_{\text{прм}i}^{<ШВ1>} - t_i^{<ШВ2>} = \tau_{ШВ2} - \text{задержка сигнала ШВ2 в канале распространения,}$$

измеряется измерителем интервалов времени (ИИВ) на приемной стороне ШВ1 (беззапросная дальность с коэффициентом $1/c$ на момент времени t_i);

$$\tau_{\text{ПРД}} = TT - \text{задержка сигнала в передающем тракте ЗС};$$

$T_{ПРМ} = TC$ – задержка сигнала в приемном тракте ЗС;

$\tau_{ионосф.}^{BH}$ – ионосферная задержка сигнала в канале «вниз» СР – ЗС;

$\tau_{ионосф.}^{BB}$ – ионосферная задержка сигнала в канале «вверх» ЗС – СР;

$\tau_{тропосф.}$ – тропосферная задержка сигнала ШВ;

$\tau_{СР} = TS$ – задержка в бортовом оборудовании СР;

$\tau_{Саньяк}^{BH} = TC^{BH}$ – поправка к эффекту Саньяка в канале «вниз» СР – ЗС;

$\tau_{Саньяк}^{BB} = TC^{BB}$ – поправка к эффекту Саньяка в канале «вверх» ЗС – СР;

$\tau_{рел.грав.}$ – задержка сигнала ШВ обусловленная релятивистским и

гравитационным эффектами;

c – скорость света;

$\frac{L_{2_1}(t_i)}{c}$ – задержка сигнала ШВ1 обусловленная геометрией пути

распространения от ЗС1 до ЗС2;

$\frac{L_{1_2}(t_i)}{c}$ – задержка сигнала ШВ2 обусловленная геометрией пути

распространения от ЗС2 до ЗС1;

TT_1 , TT_2 – задержка сигнала в передающих трактах ЗС1 и ЗС2;

TR_1 , TR_2 – задержка сигнала в приемных трактах ЗС1, ЗС2;

$\tau_{ионосф.1_2} = \tau_{ионосф.1}^{BB} + \tau_{ионосф.2}^{BH}$ – ионосферная задержка передачи сигнала ШВ1;

$\tau_{ионосф.2_1} = \tau_{ионосф.2}^{BB} + \tau_{ионосф.1}^{BH}$ – ионосферная задержка передачи сигнала ШВ2;

$\tau_{тропосф.1_2} = \tau_{тропосф.1}^{BB} + \tau_{тропосф.2}^{BH}$ – тропосферная задержка передачи сигнала ШВ1;

$\tau_{тропосф.2_1} = \tau_{тропосф.2}^{BB} + \tau_{тропосф.1}^{BH}$ – тропосферная задержка передачи сигнала ШВ2;

$TS1, TS2$ – задержка сигналов ШВ1 и ШВ2 в бортовом оборудовании СР;

$TC_{1_2} = TC1^{BB} + TC2^{BH}$ – задержка сигнала ШВ1 обусловленная эффектом

Саньяка;

$TC_{2_1} = TC2^{BB} + TC1^{BH}$ – задержка сигнала ШВ2 обусловленная эффектом

Саньяка;

$\tau_{\text{рел грав.1}_2}, \tau_{\text{рел грав.2}_1}$ задержка сигналов ШВ1 и ШВ2 обусловленная релятивистским и гравитационным эффектами.

Уравнения измерений (1) и (2) содержат искомую неизвестную величину расхождения ШВ ΔT , а также две неизвестные величины $L_{2_1}(t_i)$ и $L_{1_2}(t_i)$ представляющие суммарные дальности (ЗС1_СР_ЗС2 и ЗС2_СР_ЗС1).

Дуплексный режим сличения через ГСО ретранслятор обеспечивает инвариантность геометрических путей распространения $L_{2_1}(t_i) = L_{1_2}(t_i)$, что приводит к системе двух уравнения с двумя неизвестными. Данная особенность дуплексного режима используется не только для проведения высокоточных сличений ШВ (основная задача), но высокоточного позиционирования СР ГСО (дополнительная задача).

Задача высокоточного определения координат СР ГСО на практике решается существенно реже основной задачи. Очевидным является – возможность использования данной особенности для контроля результатов сличения при известных высокоточных значениях координат СР ГСО.

При использовании в качестве ретранслятора НКА и проведение сеансов измерения текущих навигационных параметров (ИТНП) наземными средствами

НКУ ГЛОНАСС (рисунок 1) – на средство управления и измерения (СУИ) в режиме запросно-беззапросных измерений задержки (дальности) и радиальной скорости система уравнений (1, 2) приобретает вид:

$$t_{2i} = \frac{L_{12}(t_i)}{c} + t_{1i} + \Delta T + [TT1(t_i) + TR2(t_i)] + TC1(t_i) + \tau_{\text{рел. грав.1}}(t_i) + TS(t_i) + \tau_{\text{ионосф1}}(t_i) + \tau_{\text{троп1}}(t_i) \quad (3)$$

$$t_{4i} = \frac{L_{21}(t_i + T)}{c} + (t_{1i} + T) - \Delta T + [TT2(t_i + T) + TR1(t_i + T)] + TC2(t_i + T) + \tau_{\text{рел. грав.2}}(t_i + T) + TS(t_i + T) + \tau_{\text{ионосф2}}(t_i + T) + \tau_{\text{троп2}}(t_i + T) \quad (4)$$

где:

t_{2i} – время (момент события) прихода сигнала ШВ1 на приемную сторону ШВ2;

t_{4i} – время (момент события) прихода сигнала ШВ2 на приемную сторону ШВ1;

$t_{1i} = t_i$ – время (момент события) излучения сигнала ШВ1;

$t_{3i} = t_i + T$ – время (момент события) излучения сигнала ШВ2;

$(t_{4i} - t_{3i}) = (t_{4i} - t_i - T) = \tau_{\text{ШВ2}}$ – задержка сигнала ШВ2 в канале распространения, измеряется измерителем интервалов времени (ИИВ) на приемной стороне ШВ1 (беззапросная дальность с коэффициентом $1/c$ на момент времени $t_{3i} = t_i + T$);

$(t_{2i} - t_i) = \tau_{\text{ШВ1}}$ – задержка сигнала ШВ1 в канале распространения, измеряется измерителем интервалов времени (ИИВ) на приемной стороне ШВ2 (беззапросная дальность с коэффициентом $1/c$ на момент времени t_i);

ΔT – рассогласование ШВ1 и ШВ2;

$TT1(t_i)$ – задержка в передающем тракте ШВ1 на момент времени t_i ;

$TT2(t_i + T)$ – задержка в передающем тракте ШВ2 на момент времени $(t_i + T)$;

$TR2(t_i)$ – задержка в приемном тракте ШВ2;

$TR1(t_i + T)$ – задержка в приемном тракте ШВ1;

$TC1(t_i)$ – задержка сигнала ШВ1 обусловленная эффектом Саньяка в канале распространения ШВ1-ШВ2 на момент времени t_i ;

$TC2(t_i + T)$ – задержка сигнала ШВ2 обусловленная эффектом Саньяка в канале распространения ШВ2-ШВ1 на момент времени $(t_i + T)$;

$\tau_{\text{рел. грав.1}}(t_i)$ – задержка сигнала ШВ1 обусловленная релятивистским и гравитационным эффектами на момент времени t_i ;

$\tau_{\text{рел. грав.2}}(t_i + T)$ – задержка сигнала ШВ2 обусловленная релятивистским и гравитационным эффектами на момент времени $t_i + T$;

$\tau_{\text{ионосф 1}}(t_i)$ – задержка сигнала ШВ1 обусловленная влиянием ионосферы на момент времени t_i ;

$\tau_{\text{ионосф 2}}(t_i + T)$ – задержка сигнала ШВ1 обусловленная влиянием ионосферы в канале ШВ2-ШВ1 на момент времени (t_i+T) ;

$\tau_{\text{троп 1}}(t_i)$ – задержка сигнала ШВ1 обусловленная влиянием тропосферы в канале ШВ1-ШВ2 на момент времени t_i

$\tau_{\text{троп 2}}(t_i + T)$ – задержка сигнала ШВ2 обусловленная влиянием тропосферы в канале ШВ2-ШВ1 на момент времени (t_i+T) ;

$TS(t_i), TS(t_i + T)$ – задержки сигналов ШВ1 и ШВ2 бортовым ретранслятором.

На рисунке 2 представлена схема проведения сеанса сличения на основе использования ЗИС (СУИ) и алгоритма последовательной взаимной передачи сигналов ШВ для реализации ДПМ сличения ШВ.

В данной системе (3, 4) уравнений три неизвестных – ΔT , $L_{2,1}(t_i)$ и $L_{1,2}(t_i)$, однако дополняя дальномерные измерения измерениями доплеровской частоты (СУИ – режим совместных измерений R и V_R), используя разность уравнений (3 и 4) совместно с интегрированием измерений доплеровской частоты можем определить ΔT .

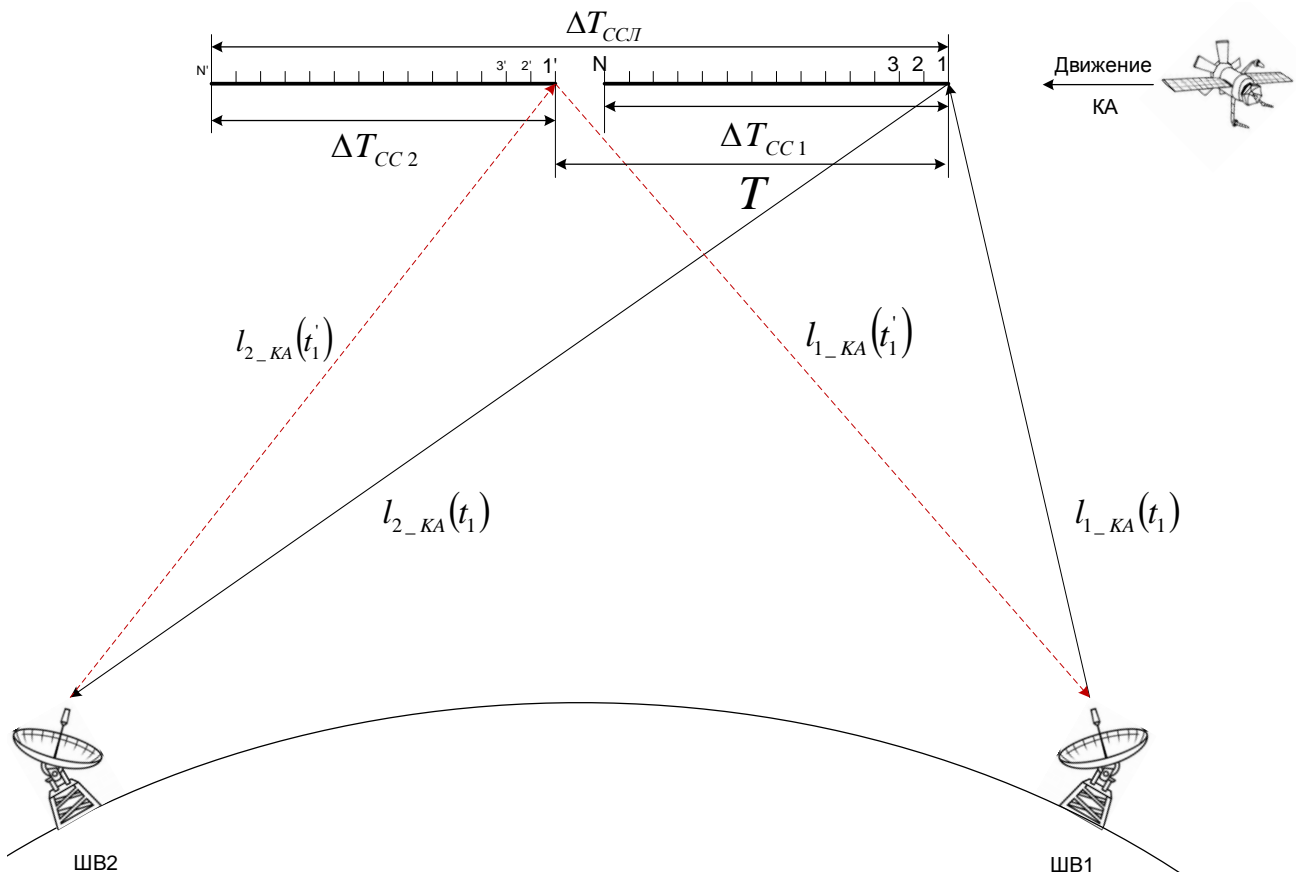


Рисунок 2 – Последовательная (двух этапная) схема взаимной передачи сигналов ШВ

Далее можно последовательно определить из системы уравнений измерений беззапросных дальностей СУИ геометрические дальности

(СУИ-НКА). Наличие апостериорных высокоточных эфемерид СВОЭВП позволяет провести сравнение полученных измерений дальностей (беззапросные дальности с учетом расхождения ШВ СУИ) и оценить точность сличения ШВ СУИ.

Данный подход к оценке точности сличения (основного показателя функциональной эффективности) технологии сличения позволяет на этапах разработки (ОКР) проводить оценку точности технологии сличения ШВ (промежуточные испытания технологии) и ее доработку.

Таким образом, совместное использование запросно-беззапросных ИТНП совместно с технологией сличения ШВ позволяет реализовать новый подход к реализации программно-методического обеспечения наземной отработки и государственных испытаний технологии высокоточного сличения пространственно удаленных ШВ с ретрансляцией. Данный подход не отрицает традиционный метод основанный на «нулевой базе» – сличение ШВ (нулевое расхождение ШВ).

Известно, что метод контроля точности технологии сличения ШВ с «нулевой базой» не позволяет оценить точность компенсации влияния атмосферы (тропосферы и ионосферы), релятивистского эффекта Саньяка. Следовательно, программно-методический подход обеспечения наземной отработки и государственных испытаний только на основе метода сличения ШВ с «нулевой базой» не является полным

Методика обеспечения наземной отработки и государственных испытаний технологии высокоточного сличения пространственно удаленных ШВ с

ретрансляцией на основе использования запросно-беззапросных ИТНП позволяет устранить недостатки метода «нулевой базы» и тем самым повысить достоверность и эффективность программно-методического обеспечения наземной отработки и государственных испытаний технологии высокоточного сличения пространственно удаленных ШВ с ретрансляцией через СР.

Важным практическим результатом является возможность расширения непрерывности проведения ИТНП НКА на основе запросно-беззапросной технологии в целях повышения точности решения задачи эфемеридного обеспечения ГЛОНАСС.

Комплексирование технологии высокоточного сличения ШВ навигационных запросно-беззапросных измерений позволяет говорить о возможности реализации совместной технологии – технологии навигационно-временных измерений ТНП НКА наземными средствами (СУИ). При этом под временными измерениями понимаются не только сличение наземных пространственно удаленных ШВ СУИ, но и сличение наземной ШВ и бортовой ШВ (при реализации фиксации момента события на борту СР).

На рисунке 3 представлена схема проведения группового ДПМ сличения ШВ и ИТНП НКА на базе трех (k) СУИ и четырех ($k+1$) сеансов запросно-беззапросных измерений ТНП НКА совместно с алгоритмом ДПМ сличения.

Технология группового взаимного сличения предполагает проведение единого сеанса группового сличения ШВ на основе последовательного кольцевого алгоритма проведения взаимных сличений ШВ.

С точки зрения ИТНП – сеанс группового взаимного сличения ШВ реализуется на основе последовательно-параллельного проведения ($k+1$) сеансов

измерений ТНП (сеансов связи) НКА одновременно выполняющего функцию последовательной ретрансляции сигналов ШВ, при этом одна (активная) ЗИС (СУИ) проводит ИТНП в запросном режиме и передает сигналы своей ШВ, все другие ЗИС (пассивные) проводят ИТНП в беззапросном режиме – принимают сигналы ШВ активной ЗИС (ЦС).

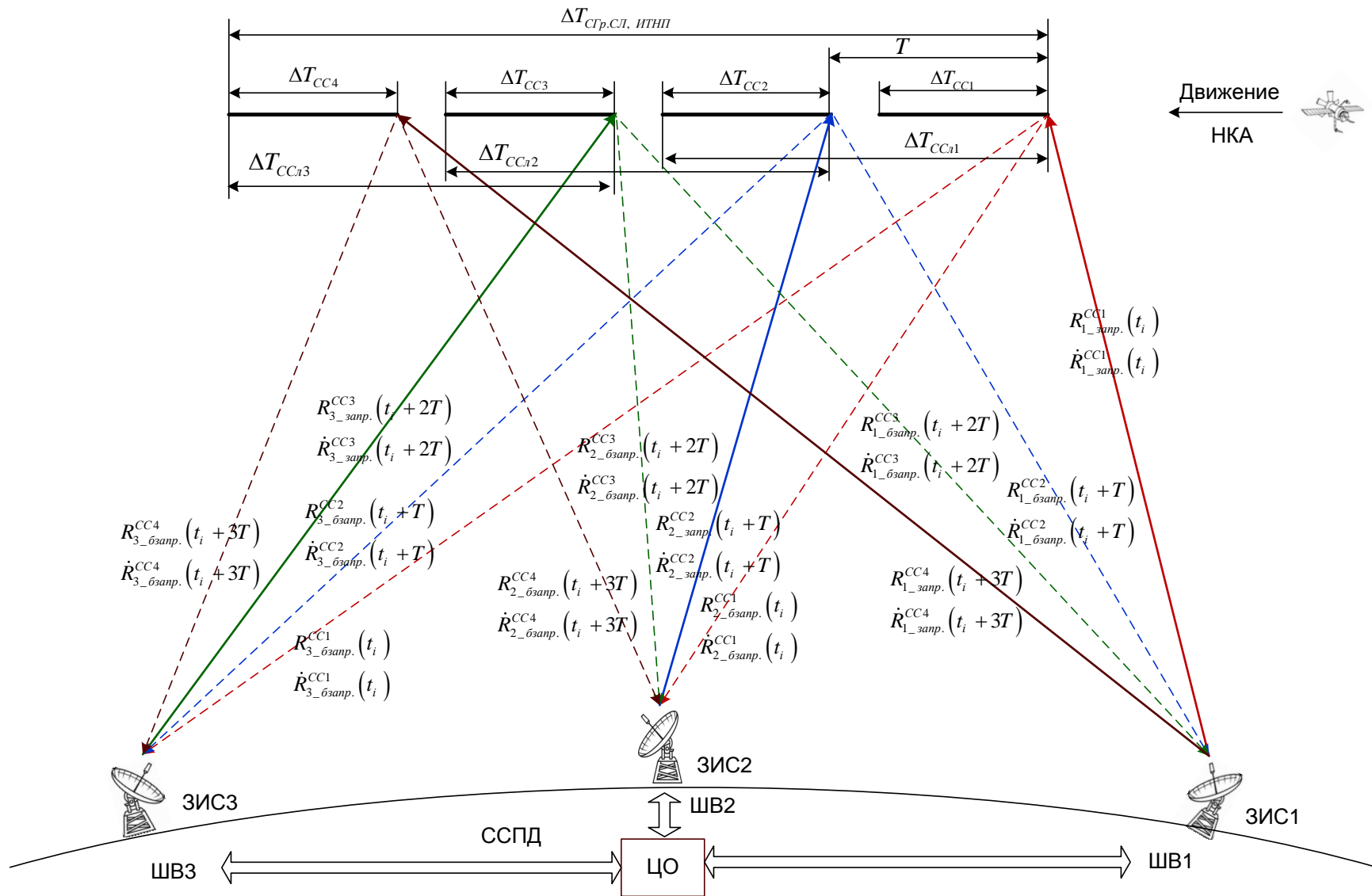


Рисунок 3 – Схема проведения группового ДПМ сличения ШВ и ИТП НКА на базе трех пространственно распределенных ЗИС и четырех $(k+1)$ сеансов запросно-беззапросных измерений ТНП НКА совместно с алгоритмом ДПМ сличения)

Задействованные для сличения удаленных ШВ ЗИС образуют измерительную систему с пространственно-распределенной структурой - многопозиционную измерительную систему.

Использование четырех последовательно-параллельных сеансов измерений позволяет реализовать кольцевую схему сличений ШВ, обеспечить возможность косвенного способа сличения ШВ и тем самым получить дополнительные статистически независимые результаты сличения для повышения точности, а также реализации контроля сличений на основе свойства замыкания измерений расхождений ШВ.

Данная схема предлагается в качестве основной для реализации технологии навигационно-временных измерений ТНП НКА. Результатом измерений ТНП по данной схеме является массив результатов сличений пространственно удаленных ШВ СУИ $\{ \Delta T_{ШВ1_ШВ2}(t_i), \Delta T_{ШВ2_ШВ3}(t_i + T), \Delta T_{ШВ3_ШВ1}(t_i + 2T) \}$.

Высокая стабильность сличаемых ШВ объективно позволяет считать значение расхождений ШВ на интервале сеанса группового сличений и ИТНП (20-30 минут) постоянной величиной независимой от временного сдвига T . Таким образом, первый массив результатов сличения можно записать в форме независимой от временного сдвига обусловленного последовательным проведением сеансов измерений:

$$\{ \Delta T_{ШВ1_ШВ2}(t_i), \Delta T_{ШВ2_ШВ3}(t_i), \Delta T_{ШВ3_ШВ1}(t_i) \}. \quad (5)$$

Условие замыкания для массивов результатов группового сличения ШВ имеет вид:

$$\Delta T_{ШВ1_ШВ2}(t_i) + \Delta T_{ШВ2_ШВ3}(t_i) + \Delta T_{ШВ3_ШВ1}(t_i) = 0 \quad (6)$$

Данное условие является основанием проведения контроля корректности точности группового сличения пространственно удаленных ШВ, соответственно, корректности и точности технологии сличения ШВ.

Проверка условия выполнения (б) должна быть использована в качестве базовой в методике обеспечения наземной отработки и государственных испытаний технологии высокоточного группового сличения пространственно распределенных ШВ. Проверка условия выполнения (б) должна проводиться после каждого сеанса группового сличения.

Средства распространения сигналов времени

Для анализа распространения сигналов времени рассмотрим два типа средств: НСС на примере системы «Глонасс» и ССС на примере системы «Приморка».

В качестве источников СВ в нашей стране и за рубежом применяются НСС «Глонасс» (Россия) и GPS (США). Проектируется европейская НСС «Галлилео». Преимущества НСС состоят в высоких характеристиках точности СВ, доступности в любой точке земного шара, освоении производства приемного оборудования многими изготовителями. Однако эти системы имеют недостатки, не всегда заметные на первый взгляд.

Для системы GPS – это принадлежность иностранному государству. В России ее сигналы допускается использовать лишь в качестве резервных.

Отечественная система «Глонасс» на данный момент имеет полную группировку спутников, но ее развитие и восполнение в большой степени зависят от

экономического состояния государства. К тому же установлено, что между шкалой системного времени «Глонасс» и UTC (SU) расхождение не должно превышать 10^{-3} с, но некоторые пользователи могут предъявлять более высокие требования к точности привязки. Это соответственно потребует привлечения дополнительных средств.

Сигналы НСС «Глонасс» и GPS имеют у поверхности Земли уровень около -160 дБВт, при котором ощутимым является воздействие различных видов помех. К тому же для обеспечения надежности СВ при неисправности приемника НСС или временной недоступности сигналов приемное устройство должно применяться совместно с хранителем шкалы времени, что значительно увеличивает стоимость системы при большом количестве пользователей. Хранение шкалы времени значительно повышает надежность СЕВ и является одной из основных ее задач.

Использование ССС «Приморка» для передачи сигналов единого времени имеет ряд преимуществ:

– с ее помощью можно связать элементы НАКУ КА, расположенные в различных частях страны и удаленные на большие расстояния друг от друга;

– так как данная система связи использует геостационарные спутники, то синхронизация пунктов СЕВ будет происходить непрерывно.

К недостаткам можно отнести недостаточно большое количество периферийных станций ССС «Приморка», но плановое развитие системы вскоре сможет решить эту проблему.

Наиболее часто для построения СЕВ применяют комбинацию рассмотренных технических средств, при которой пункты СЕВ получают в качестве опорных СВ сигналы, принятые приемником НСС, а также через спутниковые и радио каналы связи от центральных пунктов СЕВ. Применение различных средств обусловлено стремлением к компромиссу между сложностью и стоимостью системы, с одной стороны, и информационной безопасностью, надежностью и точностью – с другой.

Реализация системы единого времени НАКУ КА

Целесообразно построение СЕВ с трехуровневой архитектурой. Верхний уровень (опорная сеть СЕВ) – между государственными эталонами времени и центральными пунктами – будет отвечать жестким требованиям по качеству характеристик, средний – между центральными пунктами СЕВ и периферийными пунктами СЕВ – будет соединен системой спутниковой связи «Приморка», и нижний уровень – между периферийным пунктом СЕВ и потребителями (элементами НАКУ КА) – будет учитывать требования последних.

Для реализации верхнего уровня СЕВ НАКУ КА, отвечающей современным требованиям по точности и информационной безопасности, предусматривается использование государственного эталона времени в качестве основного источника СВ и приемников НСС «Глонасс» как резервных опорных источников. Для повышения надежности, устойчивости и автономности системы предлагается также размещение на периферийных пунктах приемников НСС «Глонасс». Для формирования и хранения местных шкал времени на пунктах СЕВ – применение эталонов частоты на основе квантовых стандартов, а для распространения СВ –

каналов системы спутниковой связи «Приморка». Синхронизация периферийных шкал времени пунктов СЕВ со шкалой центральных пунктов – методом однонаправленного распространения сигнала.

Таким образом, СЕВ состоит из центральных и периферийных пунктов, на каждом из которых формируется местная шкала времени на основе сигналов системы, получаемых от генераторного оборудования. Сигналы синхронизации от центральных до периферийных пунктов передаются по каналам ССС «Приморка». Также в качестве резервных сигналов синхронизации будут использована аппаратура приемников «Глонасс». Без особых трудностей шкала времени центрального пункта может быть синхронизирована со шкалой времени периферийного пункта. Расхождения шкал, выявляемые в процессе синхронизации, фиксируются как поправка к системному времени. Потребители определяют системное время, а учитывая указанную поправку, и время в шкале СЕВ. Пункт СЕВ образует аппаратура распределения сигналов времени, осуществляющая формирование и хранение шкалы времени, а также распространение сигналов времени от пункта до конечных устройств по кабельным каналам связи. Типовая схема организации СЕВ НАКУ КА представлена рисунке 4.

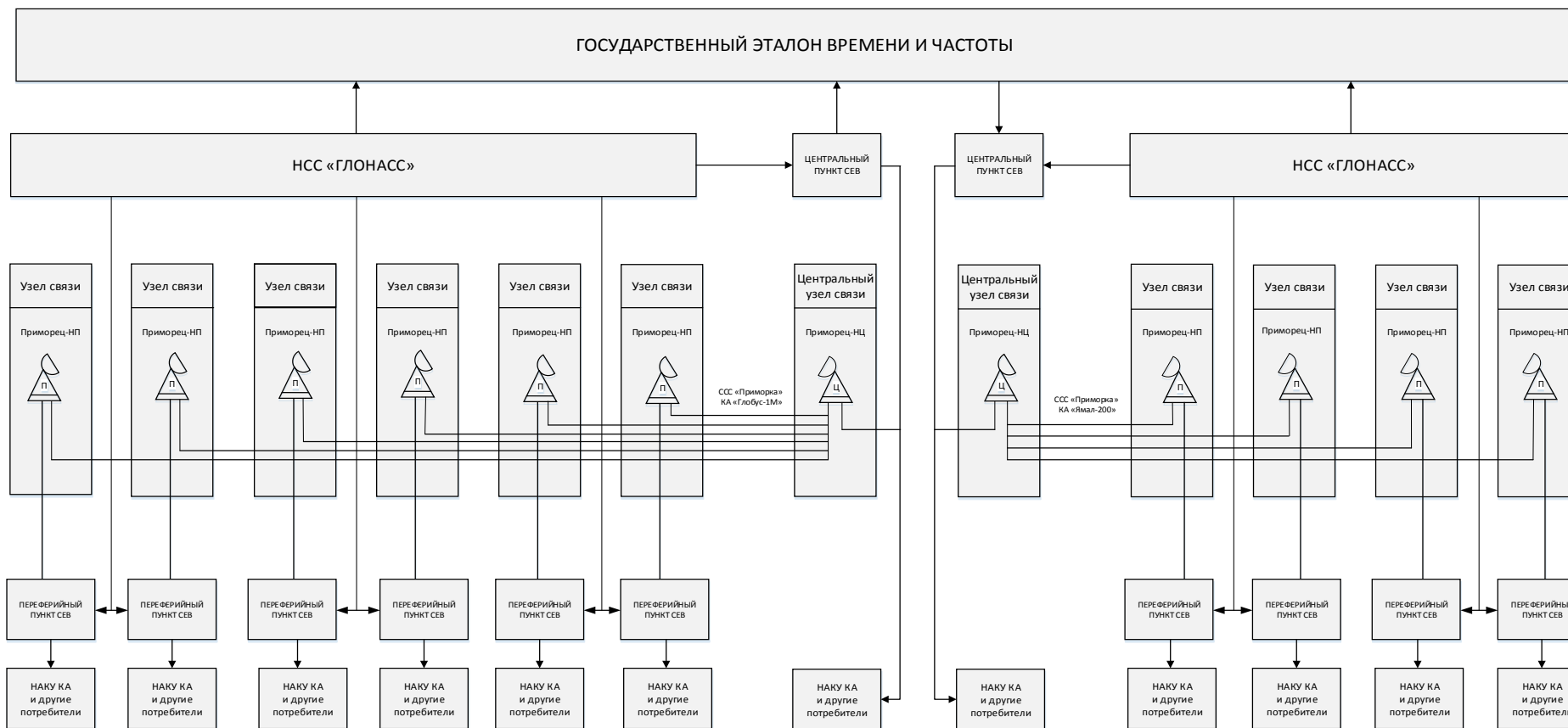


Рисунок 4. – Схема организации перспективной СЕВ НАКУ КА

Система спутниковой связи «Приморка»

Альтернативным решением для использования в качестве средства распространения СВ в СЕВ является ССС «Приморка». При этом ССС обладает рядом преимуществ по сравнению с другими фиксированными сетями связи.

ССС «Приморка» предназначена для обмена телеметрической, командно-программной, траекторной, видео информацией между элементами наземного автоматизированного комплекса управления космическими аппаратами при проведении лётно-конструкторских испытаний и запусках разгонных блоков, ракет-носителей и космических аппаратов, а также штатной эксплуатации космических аппаратов.

В состав ССС «Приморка» входят 12 земных станций спутниковой связи в том числе (рисунок 5):

- две центральных ЗССС «Приморец-НЦ-01»;
- десять периферийных ЗССС «Приморец-НП-01»;
- автоматизированная система управления ССС «Приморка».

ССС «Приморка» обеспечивает:

- обмен телеметрической, командно-программной, траекторной, видеоинформацией между элементами НАКУ КА;

- расширение своих функциональных возможностей путем наращивания компонентов и расширения программных средств комплексов средств автоматизации и объединения в единую сеть обмена информацией объектов эксплуатации;

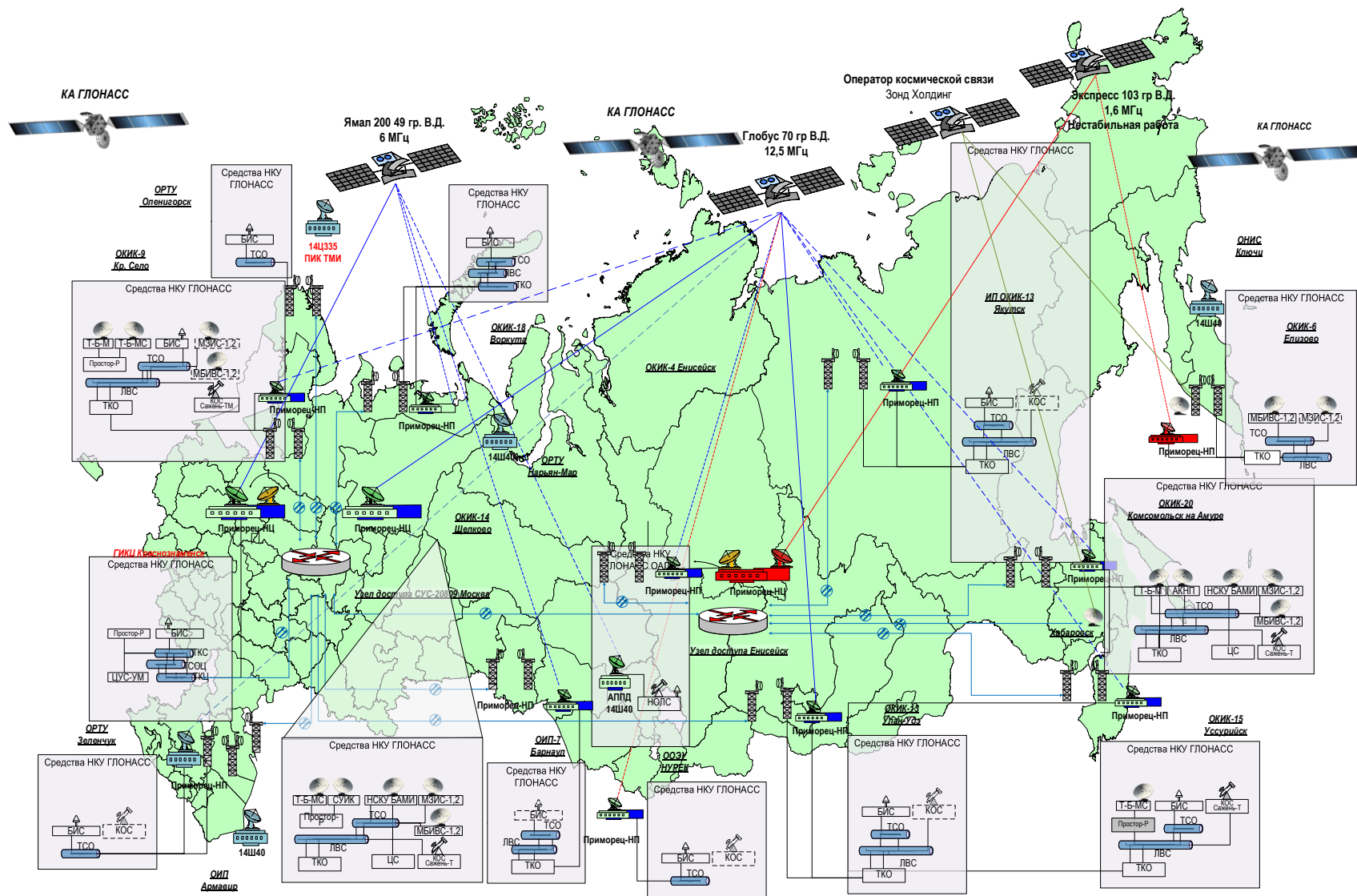


Рисунок 2. – Состав ССС «Приморка» и НСС «Глонасс» при организации СЕВ НАКУ КА

– сопряжение станций спутниковой связи с источниками (потребителями) телеметрической, командно-программной, траекторной, видео, телефонной информации по стандартному каналу тональной частоты (ТЧ) с четырехпроводным окончанием со стыком С1-ТЧ;

– сопряжение станций спутниковой связи с источниками (потребителями) телеметрической, командно-программной, траекторной, видео, телефонной информации по асинхронному цифровому каналу по стыкам С1-ФЛ-БИ (С1-И) со скоростью 1,2 – 57,6 Кбит/с;

– сопряжение станций спутниковой связи с источниками (потребителями) телеметрической, командно-программной, траекторной, видео, телефонной информации по основному цифровому каналу со скоростью 64 Кбит/с;

– сопряжение станций спутниковой связи с источниками (потребителями) телеметрической, командно-программной, траекторной, видео, телефонной информации по цифровому каналу со скоростью 2048 Кбит/с.

Таким образом, каналы передачи данных организуемых ССС «Приморка» удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым для передачи сигналов синхронизации СЕВ НАКУ КА.

Заключение

Передача сигналов времени через каналы передачи данных ССС «Приморка» и метки времени, поступающие от НСС «Глонасс» по показателям точности не уступает традиционным способам синхронизации, поступающим по радиоканалам от пунктов СЕВ, но одновременно с этим достигается более высокая степень

информационной безопасности, устойчивости и надежности. При этом возможна передача СВ непосредственно от ГЭВЧ до потребителя, что позволяет осуществлять синхронизацию всех НАКУ КА с заданной точностью. Также немаловажным фактором является то, что на модернизацию необходимо вложить минимальное количество средств, так как большинство дорогостоящего оборудования уже находится в эксплуатации.

Таким образом, на основании изложенного можно сделать вывод о целесообразности модернизации системы единого времени НАКУ КА на основе ССС «Приморка» с применением приемников сигналов точного времени НСС «Глонасс».

Библиографический список

1. Закон Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» № 4871-1 от 23 апреля 1993 г.
2. Спилкер Дж. Цифровая спутниковая связь. – М.: Связь, 1979. - 592 с.
3. Рыжов А.В., Новожилов Е.О., Леготин Н.Н., Колтунов М.Н., Еремин Е.В. Наземный сегмент Государственной службы времени и частоты // Электросвязь. 2007. № 2. С. 42 - 44.
4. Госкомсвязи и информатизации РФ «Об использовании отечественной глобальной спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС на сетях связи Российской Федерации». Приказ № 44 от 15.03.99.

5. Глобальная спутниковая навигационная система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ (Редакция 5.0). Москва, 2002.
6. Жолнеров В.С., Малюков С.Н., Шебшаевич Б.В. Оценка доступности и целостности интегральной радионавигационной системы // Труды Института прикладной астрономии РАН. 2005. № 13. С. 182 - 191.
7. Эксплуатационно-техническая документация ССС «Приморка». - М.: ФГУП НИИР, 2003. – 245 с.
8. Шебшаевич В.С., Дмитриев П.П., Иванцевич Н.В. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. - М.: Радио и связь, 1993. - 408 р.
9. Ковальский А.А. Модели статистического уплотнения и алгоритмы диспетчеризации разнородного трафика земных станций спутниковой связи в условиях изменяющейся помеховой обстановки // Труды МАИ. 2016. № 90. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=74818>
10. Литвиненко А.О. Программный комплекс автоматизированного планирования задействования средств наземного автоматизированного комплекса управления // Труды МАИ. 2016. № 86. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=67829>