|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | УТВЕРЖДАЮ |  | СОГЛАСОВАННО |
|  | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |  | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ |
|  | (Должность руководителя организации-заказчика) |  | (Должность руководителя организации-исполнителя) |
|  | \_ / (Ф.И.О.) |  | \_ / (Ф.И.О.) |
|  | «\_\_» 2025 г. |  | «\_\_» 2025 г. |

(Проект)

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ НА СЧ ОКР

# создание Низкоорбитальной Системы Навигации и Синхронизации (НСНС)

1. **ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

## Наименование системы

Полное наименование: Низкоорбитальная Система Навигации и Синхронизации.

Условное обозначение: НСНС.

## Основание для разработки

* Разработка ведется на основании эскизного проекта «Низкоорбитальная Система Навигации и Синхронизации» (далее – ЭП), утвержденного \_\_\_\_\_\_\_ г., и Отчета «Стандарты Частоты и Протоколы Времени для постарения Низкоорбитальных Спутниковых Группировок» компании ООО «ШИВА НЕТВОРК от 29.06.2025 г.
* Необходимость создания системы обусловлена растущими требованиями к точности, доступности, целостности и помехозащищенности сервисов определения местоположения, навигации и синхронизации (PNT) для критической инфраструктуры, автономного транспорта и систем национальной безопасности, а также уязвимостью существующих глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС).

## Участники разработки

* Заказчик: [Наименование организации-заказчика]
* Разработчик: [Наименование организации-разработчика]

## Перечень условных обозначений и сокращений

|  |  |
| --- | --- |
| BOC | Binary Offset Carrier (двоичная манипуляция со смещением несущей) |
| CSAC | Chip-Scale Atomic Clock (атомные часы чипового масштаба) |
| ГНСС | Глобальная навигационная спутниковая система |
| КА | Космический аппарат |
| КС | Космический сегмент |
| LEO | Низкая околоземная орбита (Low Earth Orbit) |
| MEMS | Micro-Electro-Mechanical Systems (микроэлектромеханические системы) |
| МКА | Малый космический аппарат |
| НАП | Навигационная аппаратура потребителей |
| НС | Наземный сегмент |
| НСНС | Низкоорбитальная Система Навигации и Синхронизации |
| ПН | Полезная нагрузка |
| PNT | Position, Navigation, and Timing (Местоположение, Навигация, Синхронизация) |
| PTP | Precision Time Protocol (протокол точного времени) |
| ПС | Пользовательский сегмент |
| САС | Срок активного существования |
| ТЗ | Техническое задание |
| ТП | Технический проект |
| ЭП | Эскизный проект |

1. **НАЗНАЧЕНИЕ И ЦЕЛИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ**

## Назначение системы

Система НСНС предназначена для предоставления суверенных, глобальных, высокоточных и помехозащищенных услуг по определению пространственных координат, вектора скорости и точного времени (PNT-сервисы) для неограниченного числа гражданских и специальных потребителей.

## Система должна быть способна функционировать в двух режимах:

* Дополняющий режим: Функционирование совместно с существующими ГНСС (GPS, ГЛОНАСС) для повышения их точности, доступности и помехозащищенности.
* Автономный режим: Обеспечение полноценного PNT-обслуживания при недоступности или подавлении сигналов традиционных ГНСС.

## Цели создания системы

* Ц-1: Обеспечение глобального и непрерывного навигационного покрытия.
* Ц-2: Достижение сантиметрового уровня точности определения координат в реальном времени для массового потребителя в автономном режиме.
* Ц-3: Обеспечение помехозащищенности навигационных сигналов, позволяющей устойчиво функционировать при отношении, помеха/сигнал (J/S) больше 0 дБ.
* Ц-4: Реализация криптографических механизмов аутентификации навигационных данных для защиты от атак подмены ("спуфинг").
* Ц-5: Сокращение времени сходимости высокоточных методов позиционирования (PPP, RTK) до единиц минут за счет быстрой смены геометрии орбитальной группировки.
* Ц-6: Обеспечение высокой доступности PNT-сервисов в сложных условиях приема, включая плотную городскую застройку ("городские каньоны").
* Ц-7: Создание открытой экосистемы для сторонних разработчиков пользовательской аппаратуры и сервисов на базе НСНС.

1. **ТРЕБОВАНИЯ К СИСТЕМЕ**

## Требования к архитектуре и составу Система НСНС должна состоять из трех взаимосвязанных сегментов:

* Космический сегмент (КС): Орбитальная группировка космических аппаратов, формирующих и излучающих навигационные сигналы.
* Наземный сегмент (НС): Глобальная сеть наземных станций, обеспечивающая управление КС, мониторинг целостности системы, формирование и закладку на борт КА эфемеридно-временной информации.
* Пользовательский сегмент (ПС): Навигационная аппаратура потребителей (НАП), осуществляющая прием и обработку сигналов НСНС для решения навигационной задачи.

## Требования к характеристикам космического сегмента (КС)

| **Требование** | Параметр |
| --- | --- |
| Состав орбитальной группировки | 102+ малых космических аппарата (МКА). |
| Параметры орбитальной структуры | - Рабочая высота орбиты: ~1000 км (уточняется заказчиком на этапе ЭП) |
| - Гибридная структура: основная группировка из 90 КА с наклонением 55° и дополнительная группировка из 12 КА на приполярных орбитах с наклонением 90°. |
| Срок активного существования (САС) | Не менее 5-7 лет для каждого МКА. |
| Состав основной полезной нагрузки (ПН) | - Архитектура бортового стандарта частоты:  Должна быть реализована гибридная архитектура, включающая:  - Основной стандарт:  Радиационно-стойкие миниатюрные атомные часы (CSAC). Стабильность (девиация Аллана) не хуже 5×10⁻¹² при τ=1с и не хуже 1×10⁻¹³ за 24 часа. Обеспечивает долговременную автономность (режим holdover).  - Вспомогательный стандарт:  Высокостабильный MEMS-осциллятор. Используется в качестве резервного источника и для обеспечения устойчивости к высоким вибрационным нагрузкам на этапе выведения и маневрирования.  - Навигационный передатчик: L- и S-диапазонов.  - Аппаратура межспутниковых линий связи (ISL) (уточняется на этапе проектирования):  Оптические терминалы для высокоточной автономной синхронизации группировки. |
| Энергообеспечение МКА | Пиковое энергопотребление не должно превышать 195 Вт. Солнечные и аккумуляторные батареи должны обеспечивать непрерывную работу с учетом прохождения теневых участков орбиты. |
| Стратегия восполнения группировки | Должен быть реализован "конвейерный" подход к производству и запуску МКА для восполнения и модернизации группировки без прерывания предоставления услуг. |

## Требования к характеристикам наземного сегмента (НС)

Состав: Глобальная сеть, включающая не менее 10 станций мониторинга и управления, а также центральный вычислительный комплекс.

Эфемеридно-временное обеспечение: НС должен обеспечивать расчет и прогнозирование орбит всех КА с учетом всех значимых возмущающих факторов (нецентральность гравитационного поля Земли до гармоник высокого порядка, сопротивление атмосферы по модели NRLMSISE-00, давление солнечного излучения, приливные воздействия). Обеспечить формирование единой системной шкалы времени НСНС и ее синхронизацию с национальной шкалой времени UTC(SU) с погрешностью не более 0.5 нс от ГСВЧ.

Требования к производительности: Вычислительные мощности НС должны обеспечивать решение задач определения и прогнозирования орбит и параметров часов для всей группировки в квази-реальном времени (производительность не менее 10 TFLOPS).

## Требования к навигационным сигналам и протоколам

*Примечание: диапазоны уточняются заказчиком на этапе ЭП.*

**Энергетика сигнала:** Отношение несущая/шум (C/N₀) принимаемого на поверхности Земли сигнала должно быть не менее 43.5 дБ-Гц в номинальных условиях приема.

**Структура сигнала:** Должна использоваться широкополосная модуляция типа BOC (Binary Offset Carrier). В качестве базовых должны рассматриваться сигналы BOC (10, 5) в L-диапазоне и BOC (15, 2.5) в S-диапазоне.

**Аутентификация:** должен быть реализован механизм криптографической аутентификации навигационного сообщения (например, на основе протокола типа TESLA или других) для гарантированной защиты от атак типа "спуфинг".

**Целостность:** Протоколы передачи данных должны содержать информацию о целостности сигнала, позволяющую потребителю оперативно (в течение нескольких секунд) получать оповещение о недостоверности измерений от конкретного КА.

## Требования к надежности, эксплуатации и точности системы

**Коэффициент готовности:** Система должна обеспечивать коэффициент готовности сервиса на глобальном уровне не ниже 0.999.

**Геометрический фактор (GDOP):** Значение GDOP не должно превышать 2.0 в течение 99.9% времени для 99% зоны обслуживания.

**Автономность:** при полном отказе наземного сегмента управления система должна сохранять полную функциональность (предоставление услуг с заданными точностными характеристиками) в течение не менее 24 часов за счет использования межспутниковых линий связи и гибридного стандарта частоты (*целесообразность применение межспутниковой связи уточняется на ЭП*).

**Эксплуатация:** Система должна быть рассчитана на круглосуточную непрерывную эксплуатацию.

## Требования к системе межспутниковой и потребительской синхронизации.

Для обеспечения автономности и высокой точности группировки должна быть реализована система межспутниковой синхронизации на базе адаптированного протокола времени.

**Базовый протокол:** Система должна базироваться на протоколе IEEE 1588 (Precision Time Protocol, PTP).

**Профиль протокола:** должен быть разработан и реализован специализированный профиль высокой точности для LEO-группировок, основанный на принципах профиля White Rabbit (IEEE 1588 High Accuracy Profile).

**Компенсация асимметрии задержек:** Протокол должен включать обязательный механизм двустороннего обмена временными метками между КА для непрерывного вычисления и компенсации динамической асимметрии задержек в оптических межспутниковых каналах и каналах связи с потребителем.

**Компенсация доплеровских и релятивистских эффектов:** В программное обеспечение протокола должен быть интегрирован модуль предиктивной компенсации. Данный модуль должен в реальном времени рассчитывать и вносить поправки на доплеровский сдвиг частоты и релятивистские эффекты (СТО и ОТО), используя эфемеридные данные КА.

**Адаптация к топологии:** Алгоритмы протокола должны обеспечивать быструю реконвергенцию (не более 1 минуты) при изменении топологии сети (переключении на новый Master-спутник) без существенной потери точности синхронизации.

**Целевая точность:** Погрешность взаимной синхронизации шкал времени любых двух КА, связанных прямой линией связи, не должна превышать 1.0 нс (СКО).

1. **СОСТАВ И СОДЕРЖАНИЕ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ СИСТЕМЫ**

Работы по созданию системы должны быть выполнены в несколько этапов.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Этап** | **Содержание работ** | **Ожидаемый результат** |
| **Этап 1:**  Разработка РКД  (Рабочей конструкторской документации) | - Разработка полного комплекта РКД на составные части системы: МКА, полезную нагрузку, компоненты наземного и пользовательского сегментов.  - Разработка ПО для всех сегментов системы. | Комплект РКД и ПО, утвержденный для производства. |
| **Этап 2:**  Производство и автономные испытания | - Изготовление и сборка летных образцов МКА.  - Производство оборудования для наземного сегмента.  - Проведение автономных и комплексных испытаний всех компонентов системы. | Готовые к развертыванию компоненты КС и НС. |
| **Этап 3:**  Развертывание системы | - Проведение запусков МКА и их выведение на целевые орбиты.  - Развертывание и пуско-наладка станций наземного сегмента. | Сформированная орбитальная группировка и функциональный наземный сегмент. |
| **Этап 4:**  Летные испытания и опытная эксплуатация | - Проведение комплексных летных испытаний системы.  - Проверка соответствия реальных характеристик требованиям настоящего ТЗ.  - Предоставление услуг ограниченному кругу потребителей в режиме опытной эксплуатации. | Акт о завершении летных испытаний. Подтвержденные характеристики системы. |
| **Этап 5:**  Ввод в штатную эксплуатацию | - Завершение опытной эксплуатации.  - Устранение выявленных замечаний.  - Подписание акта о приемке системы в штатную эксплуатацию. | Система, принятая в штатную эксплуатацию. |

# ПОРЯДОК КОНТРОЛЯ И ПРИЕМКИ

## Виды и этапы испытаний:

Для контроля качества и подтверждения соответствия требованиям настоящего ТЗ должны быть проведены следующие виды испытаний:

* Автономные испытания составных частей: проводятся разработчиками компонентов для подтверждения их характеристик на соответствие требованиям раздела 3 настоящего ТЗ.
* Комплексные стендовые испытания: Испытания МКА в сборе, полезной нагрузки и оборудования НС для проверки их совместного функционирования и протоколов взаимодействия.
* Летные испытания: проводятся после развертывания КС и НС для комплексной проверки системы в реальных условиях и подтверждения ключевых системных характеристик (точность, доступность, целостность, помехозащищенность).
* Опытная эксплуатация: Эксплуатация системы по назначению с целью определения фактических показателей качества, надежности и отработки эксплуатационной документации.
* Приемочные испытания: Финальные испытания для принятия решения о вводе системы в штатную эксплуатацию. Программа и методика приемочных испытаний должны обеспечивать проверку всех требований настоящего ТЗ.