

**АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗАЦИИ РЕСПУБЛИКИ КУБА**

**с применением изделий**

**средств синхронизации Quantum**



**Архитектура системы синхронизации**

**республики Куба и предложение по пилотному проекту**

**Цель:**

Создать высокоточную, отказоустойчивую систему синхронизации времени для критической инфраструктуры Кубы (энергетика, телекоммуникации, финансы) с точностью <5 нс, снизив потери и повысив надежность.

По результатам проведенных испытаний в период с декабря 2024 года по май 2025 и анализа построения сети средств синхронизации Республики Куба, для покрытия протяжённой территории Кубы и обеспечения отказоустойчивости предлагается следующая структура системы синхронизации:

**Уровневая архитектура с увеличенным количеством оборудования**

Таблица- Компоненты сети и их роли

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Устройство** | **Роль в сети** |  |
| **QUANTUM-R PCIe**  **QUANTUM-Cz PCIe** | Эталоны времени с групповым цезиевым/рубидиевым эталоном. Формируют эталонную сетку времени и синхро-частот. Являются корневыми узлами синхронизации. | Picture background |
| **QUANTUM-GrandMaster 1U/2U** | Основной сервер времени. Поддерживает до 1 млн сеансов PTP. Работает с рубидиевым/кварцевым генератором. Формирует ядро сети (Stratum 0/1). |  |
| **QUANTUM-Grand Master Mini** | Резервные сервера Grand Maste. Поддерживает до 1000 сеансов PTP. Работает с рубидиевым/кварцевым генератором. | C:\Users\amikhajlov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.Word\IMG_20241015_111320.png |
| **QUANTUM-T PCIe** | Сервер времени с термостатированным кварцем. Используется для локальной синхронизации (Stratum 2). Поддерживает NTP, PTP, SyncE. |  |
| **QUANTUM-R PCIe** | Сервер времени с рубидиевым генератором. Обеспечивает более высокую точность (±5x10⁻¹¹). Подходит для критических узлов (Stratum 1). |  |
| **QUANTUM TIME STICK** | USB-модуль для подключения конечных устройств (IoT, ПК) через Ethernet. Транслирует PTP/NTP-трафик, формирует эталонный сигнал 1PPS. |  |
| **QUANTUM GNSS** | Высокоточный ГНСС-приемник. Обеспечивает синхронизацию через спутники (GPS/ГЛОНАСС) с точностью до 5 нс. |  |
| **QUANTUM-Mini/MiniPCI** | Устройства для интеграции в базовые станции, коммутаторы и маршрутизаторы. Поддерживают 5G, LTE, SONET/SDH. |  |
| **Антенны QANTUM GNSS** | Обеспечивают прием спутниковых сигналов с защитой от помех. Работают в диапазонах L1/L2/L5. | C:\Users\amikhajlov\AppData\Local\Microsoft\Windows\INetCache\Content.Word\IMG_20241015_113559-no-bg-preview (carve.photos).png |
| **Система мониторинга и управления SHIWA TIME** | Комплексная программа синхронизации и мониторинг, коррекция, управление трафиком. Реагирование на инциденты и отслеживание KPI. |  |

**Выбор типа эталонных генераторов**

Для создания стабильной сети синхронизации времени и частоты рекомендуется использовать **рубидиевые генераторы** в сочетании с **цезиевыми** для ключевых узлов. Водородные стандарты не рассматриваются в виду сложности их обслуживания.

**Обоснование**:

* **Рубидиевые генераторы**:
  + Идеальны для распределенных узлов благодаря компактности, низкой стоимости и достаточной точности (±1e-11 в сутки).
  + Легко интегрируются в региональные центры синхронизации (дата-центры).
* **Цезиевые генераторы**:
  + Установить в 2-3 ключевых точках (например, Гавана и Сантьяго-де-Куба) как «суперузлы» для долгосрочной стабильности (±1e-13 в год).
  + Обеспечат абсолютную эталонную точность и резервирование.

**Размещение эталонных генераторов и узлов хранения и формирования частоты**

Размещение и обслуживание эталонных генераторов предлагается организовывать на базе дата-центров ETECSA и их уже существующей сети коммуникации.

**Таблица 1**

| **Тип генератора** | **Количество** | **Локации** | **Роль** |
| --- | --- | --- | --- |
| **Цезиевые** | 6 (с двойным резервирование) | Гавана, Сантьяго-де-Куба | Основные эталоны (Stratum 0). Подключены к GNSS (GPS/ГЛОНАСС) и спутниковой связи. |
| **Рубидиевые** | 15 (с тройным резервированием) | Камагуэй, Сьенфуэгос, Ольгин, Матансас, Санта-Клара | Стратегические узлы (Stratum 1). Синхронизируются с цезиевыми эталонами через PTP. |

Уровневая модель:

Primary Level: Цезиевые генераторы в Гаване и Сантьяго (точность ±1e⁻¹³ в год)

Secondary Level: Рубидиевые генераторы в 15 городах (точность ±1e⁻¹¹ в сутки).

Edge Level: Quantum MiniPCI для базовых станций 5G и IoT.

Rb

CZ

****

Rb

Rb

Rb

CZ

Rb

**Рисунок 1 – Вариант размещения эталонных синхронизаторов**

**Географическое распределение**

* **Primary Level**:
  + Размещение в 5-6 ключевых городах для минимизации задержек. Каждый GrandMaster подключён к независимым GNSS-антеннам и резервным источникам питания.
  + Использование резервных источников связи для удалённых узлов.
* **Distribution Level**:
  + 150+× Quantum Grand Master Mini установлены в региональных центрах (например, Матансас, Пинар-дель-Рио, Сьего-де-Авила).
  + Каждый узел подключён к двум Primary/Secondary.
* **Edge Level**:
  + Quantum Mini PCI: для синхронизации базовых станций 5G, энергетических подстанций, аэропортов.
  + Quantum TimeStik: для IoT-устройств, банкоматов, систем умного города.

**Таблица 2**

| **Уровень** | **Оборудование** | **Количество** | **Роль** |
| --- | --- | --- | --- |
| **Primary** | Quantum GrandMaster 1/2U (рубидиевый/цезиевые генератор) | 15 комплектов  (15 резерв) | Основные эталоны времени (Stratum 0/1). Размещены в Гаване, Сантьяго-де-Куба, Камагуэй, Сьенфуэгос, Ольгин. |
| **Secondary** | Quantum GrandMaster 1/2U (термостатированный кварц/рубидиевый генератор) | 15 | Резервные источники (Stratum 1). Распределены между крупными городами. |
| **Distribution** | Quantum GrandMaster Mini (термостатированный кварц)  Quantum GrandMaster 1/2U (термостатированный кварц) | 150+ | Установлены в региональных узлах связи (15+ городов + резерв). |
| **Edge** | Quantum GrandMaster Mini (термостатированный кварц)  Quantum MiniPCI (прецизионный навигационный приемник) + Quantum TimeStik | 250+ | Локальная синхронизация для критической инфраструктуры (5G, энергетика, транспорт). |
| **Management** | Система ShiwaTime (центральный сервер + региональные зеркала) | 3 сервера + зеркала в | Мониторинг, коррекция, управление трафиком. Зеркала в Гаване, Камагуэй, Сантьяго-де-Куба. |

**Интеграция с инфраструктурой ETECSA**

* Использование существующих оптоволоконных и радиолиний ETECSA для передачи PTP/NTP-трафика.
* Совместное размещение оборудования в дата-центрах ETECSA.
* Настройка QoS для оптимизации трафика времени, оптимизация задержек при передаче.

**Резервирование и безопасность**

* **GNSS-антенны**: Каждый Primary/Secondary узел использует 2 антенны (GPS + ГЛОНАСС) с фильтрацией помех.
* **PTP Domains**: Разделение на домены для разных отраслей (телеком, энергетика, госсектор).
* **NTS (Network Time Security)**: Шифрование NTP-трафика для публичных серверов.

**Мониторинг и управление**

* **ShiwaTime**:
  + Региональные зеркала серверов для снижения задержки.
  + Автоматические корректировки на основе данных с датчиков температуры/влажности.
* **Графики и алерты**:
  + Пороговые значения для отклонения времени: >15 нс — предупреждение, >30 нс — критическое.
  + Ежедневные отчёты для ETECSA и потребителям.

#### ****Роль системы мониторинга Shiwa Time****

**Функции**:

* **Агрегация данных**: Сбор метрик со всех узлов (отклонение времени, джиттер, температура, статус GNSS).
* **Коррекция в реальном времени**:
  + Автоматическая подстройка локальных генераторов при отклонении >10 нс.
  + Использование данных с цезиевых эталонов для калибровки рубидиевых узлов.
* **Формирование единой шкалы**:
  + Алгоритм консенсуса (White Rabbit, ShiwaTime) для согласования времени между узлами.
  + Приоритет данных от цезиевых эталонов в случае конфликта.

**Интеграция**:

* Центральный сервер ShiwaTime в Гаване + региональные зеркала (Сантьяго, Камагуэй).
* Все узлы отправляют данные в ShiwaTime через защищенные каналы (VPN + NTS).

**Обучение и поддержка**

* **Тренинги для местных инженеров**: Курсы по настройке Quantum-устройств и ShiwaTime.
* **Горячая линия 24/7**: для экстренных случаев (например, сбой GNSS из-за солнечной активности).

Предложенная схема обеспечит:

* **Покрытие всей территории Кубы** за счёт увеличения количества устройств и географического распределения.
* **Отказоустойчивость** через резервирование GNSS, источников питания и каналов связи.
* **Высокую точность** (менее ±2-5 нс) для критической инфраструктуры.
* **Интеграцию с ETECSA** для снижения затрат и использования существующей инфраструктуры.

### **Дорожная карта внедрения системы синхронизации**

**Цель**: Создание отказоустойчивой высокоточной системы синхронизации времени для критической инфраструктуры Республики Куба (энергетика, телеком, финансы) с точностью **<5 нс** и экономией **≥$50 млн/год**.

#### ****Этап 1: Подготовка инфраструктуры (0–6 месяцев)****

**Задачи**:

* Заключение договоров с ETECSA на использование оптоволокна и дата-центров.
* Рекогносцировка
* Согласование протокола информационно-логического взаимодействия
* Закупка оборудования:
  + 3×Quantum GrandMaster 1/2U (рубидиевые генераторы).
  + 1×Quantum GrandMaster 1/2U (цезиевый генераторы).
  + 3×Quantum GrandMaster 1/2U (кварцевый генераторы).
  + 10×Quantum GrandMaster Mini (кварцевый генератор)
  + 20xQuntum TimeStick
  + Антенны GNSS с защитой от помех.
* Развертывание серверов мониторинга ShiwaTime в Гаване на базе кластера.

**KPI**:

* 100% готовность инфраструктуры к пилоту.
* Подписание соглашений с 2+ региональными потребителями.

**Ответственные**:

* Технический директор проекта, логистическая команда, юристы.

#### ****Этап 2: Пилотный проект в Гаване и Сантьяго-де-Куба (6 месяцев)****

**Задачи**:

* Установка и настройка оборудования в 3 ключевых узлах.
* Интеграция с системами ETECSA (PTP/NTP-трафик).
* Проведение стресс-тестов:
  + Нагрузка: 50 000+ клиентов.
  + Условия: влажность >90%, температура >50°C.
* Обучение 10+ инженеров ETECSA по сборке и настройке изделий.

**KPI**:

* Точность синхронизации: **≤12 нс**.
* Время восстановления после сбоя: **<1 минуты**.
* Успешное прохождение 95% тестов.

**Ответственные**:

* Инженеры SHIWA NETWORK, команда внедрения.

#### ****Этап 3: Масштабирование на регионы (6–14 месяца)****

**Задачи**:

* Развертывание 25+ рубидиевых/цезиевых генераторов в Камагуэй, Сьенфуэгос, Ольгин и др.
* Подключение 150+ Quantum GrandMaster Mini к региональным узлам.
* Внедрение системы ShiwaTime с зеркалами в 3 городах.
* Интеграция с энергосетями и банковскими системами.

**KPI**:

* Покрытие 80% территории Кубы.
* Первые клиенты сервиса – 5-10 клиентов.
* Снижение потерь электроэнергии: **3–5%**.
* Сокращение ошибок транзакций: **≤3%**.

**Ответственные**:

* Региональные менеджеры, технические команды, партнеры ETECSA.

#### ****Этап 4: Мониторинг и оптимизация (24–36 месяцев)****

**Задачи**:

* Ежедневный сбор метрик: отклонение времени, температура, статус GNSS.
* Автоматическая коррекция через ShiwaTime при отклонении >10 нс.
* Анализ экономии: сравнение с базовыми показателями.
* Обновление ПО и прошивок оборудования.

**KPI**:

* Среднее отклонение: <5 нс.
* Экономия: ≥$50 млн/год.
* Удовлетворенность клиентов: ≥90%.

**Ответственные**:

* Команда аналитиков, служба поддержки, разработчики SHIWA NETWORK.

#### ****Управление рисками****

1. **Технические сбои**:
   * Резервные генераторы и антенны GNSS на всех узлах.
   * Еженедельные тесты отказоустойчивости.
2. **Задержки поставок**:
   * Создание страхового запаса оборудования (15% от объема).
3. **Низкая квалификация персонала**:
   * Ежеквартальные тренинги с практическими кейсами.
   * Горячая линия 24/7 для экстренных консультаций.

#### ****Итоговые показатели успеха****

* **Технические**: Точность **<5 нс**, покрытие **100%** критической инфраструктуры.
* **Экономические**: Экономия **≥$115 млн/год** к 2027 году.
* **Стратегические**: Снижение зависимости от импорта энергии, развитие 5G и FinTech.

Данный план обеспечит Кубе и ETECSA лидерство в области точной синхронизации времени в Карибском регионе.

**Оценка экономической выгоды после внедрения системы синхронизации**

#### ****1. Энергетика****

Годовое потребление электроэнергии на Кубе составляет около 18–20 тераватт-часов (ТВт·ч). Эта оценка основана на данных за последние доступные годы (по данным ONEI, 2023 г.).

Средние потери в сетях: 15–20% (оценка Всемирного банка, 2022 г.).

**Прогнозируемая экономия**:

* Снижение потерь за счет синхронизации: 3–5% (умеренный сценарий).
* Средняя стоимость электроэнергии: 0.15 USD/кВт·ч (для Кубы).

**Пример**: В Мексике внедрение синхронизированных умных сетей сократило потери на 4% в регионах с аналогичным износом инфраструктуры , что привело к экономии **$50 млн/год** (источник: [SENER](https://www.gob.mx/sener), 2021 г.).

### Ключевые аспекты:

1. **Структура потребления на Кубе**:
   * **Жилой сектор**: ~30% (освещение, бытовая техника).
   * **Промышленность**: ~25% (производство, сахарная промышленность).
   * **Транспорт и услуги**: ~45% (включая туристический сектор).
2. **Энергетический баланс**:
   * Куба зависит от импорта нефти (около 70% электроэнергии вырабатывается на ТЭС).
   * Активно развивается возобновляемая энергетика (солнечная, ветровая, биомасса), которая покрывает ~5–7% потребностей.
3. **Потребление на душу населения**:
   * ~**1,700–1,800 кВт·ч/год** (для сравнения: в США — ~12,000 кВт·ч/год, в Доминиканской Республике — ~1,500 кВт·ч/год).

**Механизмы экономии**:

* + Снижения потерь при передаче электроэнергии.
  + Оптимизации нагрузки на подстанциях.
  + Уменьшения аварийности сетей.

**Количественные показатели**:

* Сокращение потерь энергии: **3-5%** (для страны с годовым потреблением 20 ТВт·ч — экономия **$36–60 млн** в год).

Для более детальной оценки необходимо провести детальный анализ построения энергосети и структуры синхронизации.

#### ****2. Связь (телекоммуникации)****

**Механизмы экономии**:

* **Снижение простоев**:
* Наносекундная синхронизация базовых станций 5G/LTE уменьшает задержки и увеличивает стабильность.
* **Повышение эффективности**:
* Устранение джиттера улучшает качество VoIP, видеосвязи и потоковой передачи данных.

**Количественные показатели**:

* Сокращение затрат на обслуживание: **9-18%**
* Рост пропускной способности: **5-7%**
* **Пример**:

В Южной Корее улучшение синхронизация сетей 5G сократила простои на 12%, повысив прибыль **операторов** на $120 млн в год.

Для ETECSA прогнозируемая экономия — $9–18 млн/год за счет снижения затрат на обслуживание и возможного роста абонентской базы.

#### ****Финансовый сектор****

**Экономия:**

Предотвращение ошибок в транзакциях, снижение рисков и штрафов за несоответствие регуляторным требованиям.

**Аналитика:**

* На биржах высокочастотного трейдинга (HFT) рассинхронизация даже на **1 мкс** может привести к убыткам **$4–10 млн/день**.
* Пример: Биржа **NYSE** использует атомные часы для синхронизации, что снижает ошибки на **99%**.
* Для банков соответствие требованиям MiFID II (ЕС) требует точности времени **≤100 мкс**, иначе штрафы достигают **$5 млн/год** на организацию.

### **Синхронизация платежных терминалов и систем оплаты на Кубе: ключевые аспекты и решения**

#### ****Текущие проблемы платежных систем на Кубе****

1. **Ограниченный доступ к международным системам**:

Санкции и регуляторные барьеры блокируют интеграцию с Visa/Mastercard. Основные решения — локальные системы, такие как **Transfermóvile** и **EnZona**.

1. **Нестабильная инфраструктура**:
   * Перебои с интернетом и электричеством.
   * Низкая скорость обработки транзакций из-за ручных процессов.
2. **Риски безопасности**:
   * Отсутствие точных временных меток повышает уязвимость к мошенничеству (например, повторное использование токенов).
3. **Низкая цифровизация**:

Только **35%** населения активно используют онлайн-платежи (данные 2023 г.).

#### ****Роль синхронизации в решении проблем****

1. **Корректная обработка транзакций**:
   * Расхождение времени между терминалами и серверами приводит к ошибкам («отказ в авторизации», «двойное списание»).
   * **Пример**: при рассинхронизации >1 сек количество ошибок возрастает на **20%** (данные **NIST**).
2. **Безопасность операций**:
   * Временные метки в токенах и журналах транзакций требуют точности ≤100 мс для предотвращения подделки.
   * **Пример**: В Бразилии синхронизация снизила мошенничество с POS-терминалами на **15%**.
3. **Соответствие стандартам**:

Даже локальные системы нуждаются в синхронизации для будущей интеграции с международными платформами (например, при снятии санкций).

#### ****Предлагаемые решения для Кубы****

1. **Локальные NTP/PTP -серверы с резервированием (Quantum TimeStik)**:
   * **Преимущество**: работают без интернета, устойчивы к отключениям электричества.
2. **Есть возможность в интеграция с Transfermóvile/EnZona**:
   * Добавление временных меток в протоколы транзакций.
   * Использование PTP (IEEE 1588) для синхронизации терминалов с точностью ≤1 мкс.
3. **Офлайн-синхронизация**:
   * Обновление времени терминалов через SIM-карты (использование сетей мобильной связи).
   * **Пример**: В Индии сервис **UPI** использует синхронизацию через GSM-сети для офлайн-транзакций.

#### ****Примеры успешных кейсов****

1. **Кения (система M-Pesa)**:
   * Внедрение локальных NTP-серверов сократило ошибки транзакций на **30%**.
   * Экономия: **$5 млн/год** за счет снижения мошенничества.
2. **Венесуэла (система Biopago)**:
   * Использование GNSS-синхронизации терминалов в условиях санкций.
   * Скорость обработки платежей выросла на **25%**.

#### ****Ожидаемые результаты для Кубы****

| **Параметр** | **Текущее состояние** | **После внедрения** |
| --- | --- | --- |
| Ошибки транзакций | 8–12% | ≤3% |
| Среднее время обработки | 5–10 сек | 1–3 сек |
| Уровень мошенничества | 4–6% | ≤1.5% |
| Доступность терминалов | 85% | 95-98% |

**Экономия**:

* Снижение потерь от ошибок и мошенничества: **$3–5 млн/год**.
* Рост доверия пользователей увеличение числа транзакций на **15–20%**.

### **Заключение**

Высоконадежная система синхронизации для Кубы — не только техническая задача, но и шаг к независимости. Внедрение локальных решений с резервированием повысит надежность, снизит риски и подготовит инфраструктуру к будущей интеграции с глобальными