

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «ГК МФМК»
(ООО «ГК МФМК»)

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ООО «ГК МФМК»

_____ Лудиков А.В.
« ____ » _____ 2026 г.

ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА «TITANWRT_N1CPXKK»
Описание архитектуры

РАЗРАБОТАНО
ООО «ГК МФМК»

Дата введения: _____
Без ограничения срока действия.

г. Москва
2026

Инв. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подпись и дата

Содержание

1 Общие положения	4
2 Структура	5
3 Компоненты	6
4 Взаимодействие	10
5 Технологии	12

Введение

Настоящий документ содержит описание технической архитектуры операционной системы «TitanWRT_N1CPXKK».

Операционная система «TitanWRT_N1CPXKK» представляет собой встраиваемую операционную систему для вычислительных модулей, разработанную на основе ядра Linux, загрузчика U-Boot и OpenWrt.

В данном документе приведено описание структуры, состава компонентов, взаимодействия между элементами системы и технологического стека, используемого в составе ОС «TitanWRT_N1CPXKK».

1 Общие положения

1.1. Настоящий документ содержит описание архитектуры операционной системы «TitanWRT_N1CPXKK» (далее – Программа).

1.2. Исключительные права на Программу принадлежат ООО «ГК МФМК», г. Москва (далее – Компания).

1.3. Настоящий документ подлежит размещению на сайте Компании в сети Интернет по адресу: <https://1.titanplc.ru/> (далее – официальный сайт).

2 Структура

2.1. Операционная система «TitanWRT_N1CPXKK» представляет собой встраиваемую операционную систему, построенную на основе архитектуры, включающей несколько ключевых слоёв. Система разработана на базе ядра Linux, загрузчика U-Boot и платформы OpenWrt и предназначена для функционирования на вычислительных модулях в составе встраиваемых и распределённых систем.

2.2. Архитектура системы включает следующие основные уровни:

- Загрузчик U-Boot обеспечивает начальную загрузку, инициализацию аппаратного обеспечения и передачу управления ядру Linux;
- Ядро Linux управляет памятью, процессами и потоками, файловыми системами, сетевыми интерфейсами, периферийными устройствами, а также обрабатывает аппаратные прерывания и исключения;
- Системные библиотеки и утилиты предоставляют базовые функции для работы с файловыми системами, сетью, шинами ввода-вывода и блочными устройствами;
- Сетевой стек обеспечивает поддержку протоколов TCP/IP, UDP, ICMP, ARP, маршрутизацию, мосты, VLAN и беспроводные сети;
- Подсистема управления питанием реализует функции энергосбережения, управления батареями, зарядными устройствами и частотного масштабирования;
- Драйверы периферийных устройств включают поддержку UART, I2C, SPI, MMC/SD, Ethernet, USB, GPIO, PWM, RTC, WDT, Video, Sound и других интерфейсов.

3 Компоненты

3.1. Основные компоненты Программы перечислены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные компоненты ОС «TitanWRT_N1CPXKK»

Загрузчик U-Boot	
Компонент	Назначение
Базовое ядро U-Boot	Файлы, отвечающие за запуск, инициализацию, копирование в RAM, SPL, основную логику загрузки
Архитектурно-зависимый код	Файлы для конкретных архитектур: ARM, PPC, x86, MIPS, ARC, NDS32, Nios2, RISC-V, Sandbox
Драйверы	Драйверы UART/Serial, I2C, SPI, MMC/SD, NAND/MTD, Ethernet/Network, USB, GPIO, RTC, WDT, PWM, ADC, RNG/Crypto, DMA, PCI/PCIE, Video/Display, Sound, Power/PMIC/Regulator, Thermal, mailbox, syscon, reset, sysreset, FPGA, CPLD
Файловые системы	Поддержка различных файловых систем: FAT, EXT4, UBIFS, JFFS2, ReiserFS, CramFS, ZFS, Btrfs и др.
Команды	Все команды оболочки U-Boot
Сеть	Базовые сетевые протоколы и утилиты (без драйверов)
Системные библиотеки	Базовые функции C, математика, строки, память, поиск, сортировка, сжатие
Загрузка образа	Работа с образами: FIT, Android, U-Boot images
Хранение	Управление разделами дисков, работа с блочными устройствами (SATA, SCSI, NVMe, IDE, PCMCIA, UFS), поддержка таблиц разделов (DOS, EFI/GPT, MAC, AMIGA, ISO)

Продолжение таблицы 1

Среда	Переменные окружения и их хранение
Тесты	Модульные и интеграционные тесты подсистем U-Boot
POST	Диагностика оборудования при включении
U-Boot Tools	Инструменты для создания образов, прошивок, работы с окружением
API	API для приложений, работающих поверх U-Boot
Ядро Linux	
Базовое ядро, планировщик, процессы Linux	Управление процессами и потоками, планирование задач (CFS, RT, deadline), контекстное переключение, состояния задач, приоритеты, идентификаторы процессов, работа с очередями задач и загрузкой системы
Прерывания, исключения, обработка ошибок	Обработка аппаратных и программных прерываний, исключений, сбоев страниц, трапов, паники ядра, стектрейсы, механизмы отладки и обработки критических ошибок
Таймеры и системное время	Управление аппаратными таймерами, часами реального времени, системным временем, задержками, таймерами высокого разрешения, тиками и часовыми событиями
Управление памятью	Аллокация и управление физической и виртуальной памятью, страничная организация, слэб-аллокаторы, кэши, свопинг, KSM, компактификация, huge pages, vmalloc, работа с областью подкачки
Файловые системы	Реализация файловых систем, сетевые файловые системы, псевдо-файловые системы, overlayfs, FUSE, кэширование и журналирование

Продолжение таблицы 1

Сетевой стек	Протоколы TCP/IP, UDP, ICMP, ARP, сетевые фильтры, маршрутизация, мосты, VLAN, беспроводные сети, Bluetooth, CAN, сетевые интерфейсы и QoS
Драйверы шин и контроллеров	Поддержка шин PCI, USB, SPI, I2C, GPIO, pinctrl, DMA, MMC/SD, MTD/NAND, регуляторов напряжения, тактовых генераторов, термальных датчиков, PHY, IOMMU
Блочный уровень	Управление блочными устройствами, очереди команд, планировщики ввода-вывода, кэширование, многоочередные (blk-mq) устройства, работа с дисковыми разделами
Символьные устройства и вспомогательные драйверы	Символьные драйверы, TTY, последовательные порты, TPM, аппаратные генераторы случайных чисел, IPMI, разнообразные вспомогательные и специфические устройства
Звуковая подсистема (ALSA)	Звуковая подсистема: ядро ALSA, PCI-звуковые карты, USB-звук, звуковые кодеки, Audio DSP, SoC-аудио, MIDI, сжатые аудиопотоки
Видео, DRM, фреймбуфер	Графические драйверы, DRM, фреймбуфер, видеовыходы, HDMI, панели, кодеки, MIPI-DSI, управление дисплеями и видеопамтью
Медиа и видеозахват	Поддержка веб-камер, TV-тюнеров, видеозахвата, V4L2, медиа-контроллеры, CSI-интерфейсы, обработка видео
Управление питанием и батареи	Управление питанием, драйверы батарей, зарядных устройств, топливомеры, управление энергопотреблением, частотное масштабирование

Продолжение таблицы 1

Безопасность и криптография	Модули безопасности, криптографические алгоритмы, сертификаты, TPM, верификация подписей
Архитектурно-зависимый код	Код для конкретных архитектур: запуск процессоров, MMU, системные вызовы, кэш, SMP
Библиотеки и вспомогательные функции	Общие библиотечные функции: строки, хеши, CRC, сжатие (LZ4, ZSTD, XZ), деревья, битовые операции, математика, тестовые модули
Инструменты и утилиты	Утилиты для сборки и отладки: perf, objtool, cpubpower, turbostat, acpidump, gen_init_cpio, selftests

4 Взаимодействие

4.1. Загрузка системы

Загрузчик U-Boot выполняет инициализацию аппаратного обеспечения, после чего загружает ядро Linux из внутренней энергонезависимой памяти (eMMC) в оперативную память. Ядро Linux производит инициализацию подсистем, монтирование корневой файловой системы и запуск системных процессов.

4.2. Взаимодействие с аппаратным обеспечением

Взаимодействие с аппаратными компонентами вычислительного модуля осуществляется через драйверы устройств, реализованные в составе ядра Linux и загрузчика U-Boot. Каждый драйвер обеспечивает программный интерфейс для управления соответствующим периферийным устройством через стандартные механизмы ядра (символьные и блочные устройства, сетевые интерфейсы).

4.3. Внутрисистемное взаимодействие

Внутреннее взаимодействие между компонентами ОС осуществляется через стандартные механизмы ядра Linux:

- Системные вызовы – для взаимодействия пользовательских приложений с ядром;
- Файловые системы /sys и /proc – для доступа к информации о состоянии системы и управления параметрами ядра;
- Сетевые интерфейсы (netlink) – для управления сетевыми настройками и маршрутизацией;
- Драйверы устройств – обеспечивают связь между ядром и периферийным оборудованием.

4.4. Сбор и передача телеметрии

Сбор и передача телеметрии, а также логирование событий системы осуществляются через подсистему журналирования ядра и системный журнал, обеспечивающие централизованный сбор и ротацию логов.

4.5. Взаимодействие с пользователем

Взаимодействие с пользователем осуществляется через:

- Командную строку загрузчика U-Boot – для настройки параметров загрузки;
- Консоль Linux – доступ к системной консоли через последовательный порт (UART);
- Сетевые сервисы – удалённое управление системой.

5 Технологии

5.1. Базовая платформа

- Ядро Linux;
- Загрузчик U-Boot;
- OpenWrt;

5.2. Поддерживаемые файловые системы

- FAT / VFAT;
- EXT4;
- UBIFS;
- JFFS2;
- SquashFS;
- Btrfs, XFS;
- NFS, CIFS;
- ReiserFS, CramFS, ZFS.

5.3. Сетевые технологии

- Протоколы: TCP/IP, UDP, ICMP, ARP, DHCP, DNS, NFS, TFTP, SNMP;
- Маршрутизация и фильтрация: netfilter/iptables, nftables, мосты, VLAN;
- Беспроводные сети: поддержка mac80211, драйверы беспроводных адаптеров;
- Bluetooth;
- CAN.

5.4. Периферийные интерфейсы

- UART;
- I2C;
- SPI;
- MMC/SD;
- Ethernet;
- USB;

- GPIO;
- PWM;
- RTC;
- WDT;
- Video;
- Sound;
- PCI/PCIe;
- DMA.

5.5. Безопасность и криптография

- Мандатное управление доступом: SELinux, AppArmor;
- Криптографические алгоритмы: AES, RSA, SHA, HMAC, SM2, SM3, SM4;
- Аппаратный TPM;
- Верификация подписей;
- Подсистема ключей;
- Аппаратный RNG – генератор случайных чисел.

5.6. Системные библиотеки и утилиты

- Алгоритмы сжатия: LZ4, ZSTD, XZ, LZO, GZIP;
- Хеширование: CRC, MD4, MD5, SHA1, SHA256, SHA512;
- Работа со строками, памятью, математика, сортировка, деревья.

5.7. Инструменты сборки и отладки

- perf;
- objtool;
- cpubower;
- turbostat;
- acpidump;
- selftests.