ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 59026— 2024

Информационные технологии

ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ

Протокол беспроводной передачи данных NB-IoT. Основные параметры

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Публичным акционерным обществом «Мобильные ТелеСистемы» (ПАО «МТС»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 194 «Кибер-физические системы»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 7 октября 2024 г. № 1399-ст

4 ВЗАМЕН ГОСТ Р 59026—2020

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Термины и определения 1
3 Сокращения и обозначения 2
4 Параметры радиоинтерфейса для функционирования NB-IoT 5
4.1 Диапазоны рабочих частот downlink- и uplink-каналов NB-IoT 5
4.2 Конфигурации частотного ресурса канала передачи данных NB-IoT 7
4.3 Расположение NB-IoT каналов 8
5 Категории абонентских устройств NB-IoT 10
6 Архитектура сети NB-IoT 12
6.1 Общая архитектура 12
6.2 Архитектура сети для передачи пакетов NIDD 14
6.3 Архитектура сети для передачи данных IP 15
7 Стек протокола передачи данных NB-IoT 16
7.1 Стек протокола передачи данных 16
7.2 Взаимосвязь уровней стека и каналов передачи данных 17
7.3 Уровень PHY 18
7.4 Уровень MAC 25
7.5 Уровень RLC 26
7.6 Уровень PDCP 28
7.7 Уровень RRC 30
8 Режимы энергосбережения NB-IoT 32
8.1 Режим энергосбережения PSM 32
8.2 Расширенный режим прерывистого приема eDRX 32
9 Расширение возможностей NB-IoT 34
9.1 Интеграция в 5G 34
9.2 Интеграция в NTN 36
Приложение А (справочное) Отраслевое применение технологии NB-IoT 39
Приложение Б (справочное) Пример знака, подтверждающего корректность использования устройства NB-IoT в выбранном сценарии применения 42
Библиография 43

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Информационные технологии

ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ

Протокол беспроводной передачи данных NB-IoT. Основные параметры

Information technology. Internet of things. NB-IoT wireless data transmission protocol. Key parameters

Дата введения — 2024—11—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на оборудование беспроводной передачи данных NB-IoT и устанавливает его основные параметры.

Требования настоящего стандарта следует учитывать при разработке, изготовлении и эксплуатации оборудования беспроводной передачи данных NB-IoT.

Настоящий стандарт, определяющий функционирование NB-IoT, допускается использовать как основу реализации цифровых решений в различных отраслях экономики — строительство, ЖКХ, «умный город», промышленность, сельское хозяйство, транспорт, логистика и др.

Для обеспечения безопасной передачи данных оконечного устройства используются алгоритмы шифрования данных современных систем передачи данных и протоколов. Необходимость шифрования (применение средств криптографической защиты) данных при ее передаче определяется разработчиком/производителем устройств самостоятельно с учетом действующего законодательства Российской Федерации. Выбор конкретных алгоритмов шифрования данных определяет разработчик оконечного устройства в зависимости от целевого назначения оконечного устройства и действующих нормативных документов, в том числе для критической информационной инфраструктуры (КИИ). Используемые в оконечном устройстве алгоритмы шифрования данных должны быть указаны в эксплуатационной документации на соответствующее оконечное устройство. Описание и выбор конкретных алгоритмов шифрования данных выходит за рамки настоящего стандарта.

2 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

2.1 **узкополосный интернет вещей;** NB-IoT: Технология радиодоступа, входящая в состав сотового IoT, стандартизированная 3GPP для интернета вещей.

2.2 **сотовый интернет вещей;** CIoT: Сотовая сеть, поддерживающая устройства низкого уровня сложности и низкой пропускной способности для сети вещей.

Примечание — Сотовый IoT поддерживает оба вида трафика: IP и не-IP.

2.3 **эталонная чувствительность** (reference sensitivity): Минимальная средняя мощность сигнала, подаваемая на антенный порт абонентского устройства (UE), при которой пропускная способность UE составляет не менее 95 % от максимальной пропускной способности данного UE.

2.4 **uplink-канал;** UL (uplink): Канал связи восходящих сообщений от абонентского устройства.

2.5 **downlink-канал;** DL (downlink): Канал связи нисходящих сообщений к абонентскому устройству.

Издание официальное

2.6 **доверенный AS:** Сервер приложений, расположенный внутри контура сети.

2.7 **слой доступа Access Stratum:** Функциональный уровень между радиосетью и пользовательским оборудованием, отвечающий за транспортировку данных по беспроводному соединению и управление радиоресурсами.

3 Сокращения и обозначения

3.1 В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

АСУТП — автоматизированная система управления технологическим процессом;

КИИ — критическая информационная инфраструктура;

СКУД — система контроля и управления доступом;

СХ — сельское хозяйство;

УСПД — устройство сбора и передачи данных;

AF — прикладная функция (Application Function);

AM — режим передачи с подтверждениями (Acknowledged Mode);

AMF — функция управления доступом и мобильностью (Access and Mobility management Function);

API — интерфейс программирования приложений (Application Programming Interface);

APN — имя точки доступа (Access Point Name);

ARQ — автоматический повторный запрос (Automatic Repeat Request);

AS — сервер приложений (Application Server);

BCCH — широковещательный канал управления (Broadcast Control Channel);

BCH — широковещательный канал (Broadcast Channel);

BPSK — двоичная фазовая манипуляция (Binary Phase-Shift Keying);

CCCH — общий канал управления (Common Control Channel);

CoAP — протокол ограниченного приложения (Constrained Application Protocol);

CP — плоскость управления (Control Plane);

CRC — циклический избыточный код (Cyclic Redundancy Check);

CRS — референсный сигнал ячейки сети (Cell-specific Reference Signal);

CSGN — узел шлюза обслуживания сотового интернета вещей (Cellular IoT Serving Gateway Node);

CU — центральный блок (Central Unit);

DCCH — выделенный канал управления (Dedicated Control Channel);

DCI — управляющая информация downlink-канала (Downlink Control Information);

DL-SCH — общий downlink-канал (Downlink Shared Channel);

DMRS — референсный сигнал демодуляции (Demodulation Reference Signal);

DTCH — выделенный канал трафика (Dedicated Traffic Channel);

DU — распределенный блок (Distributed Unit);

EARFCN — номер частотного радиоканала (E-UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number);

eDRX — расширенный прерывистый прием (Extended Discontinuous Reception);

eNB — базовая станция сети (eNodeB);

EPC — ядро пакетной сети нового поколения (Evolved Packet Core);

EPS — пакетная система нового поколения (Evolved Packet SYstem);

FDD — частотный дуплекс (Frequency Division Duplex);

GEO — геостационарная орбита (Geostationary Earth Orbit);

GNSS — глобальная спутниковая навигационная система (Global Navigation Satellite System);

GSM — глобальная система мобильной связи (Global System for Mobile Communications);

GTP — группа протоколов соединения на основе IP, используемая в сетях GSM, UMTS и LTE (GPRS Tunneling Protocol);

GTP-U — протокол передачи пользовательского трафика через туннели стандарта GTP (GPRS Tunneling Protocol For User Plane);

GUI — графический интерфейс пользователя (Graphical User Interface);

HARQ — гибридная схема с автоматическим запросом повторной передачи (Hybrid AUtomatic REpeat REquest);

HSS — сервер домашних абонентов (Home Subscriber Server);

HTTP — протокол передачи гипертекста (Hypertext Transfer Protocol);

HTTPS — защищенный протокол передачи гипертекста (Hypertext Transport Protocol Secure);

IMSI — международный идентификатор мобильного абонента (International Mobile Subscriber Identity);

IIoT — промышленный интернет вещей (Industrial IoT);

IoT — интернет вещей (Internet of Things);

IP — интернет-протокол (Internet Protocol);

LEO — низкая околоземная орбита (Low-earth Orbit);

LTE — стандарт беспроводной высокоскоростной передачи данных (Long Term EVolution);

LWM2M — облегченный протокол для управления устройствами M2M или IoT (Lightweight M2M);

M2M — межмашинное взаимодействие (Machine-to-machine);

MAC — управление доступом к среде (Media Access Control);

MEO — средняя околоземная орбита (Medium-earth ORbit);

MIB — блок системной информации (Master Information Block);

MME — объект управления мобильностью (Mobility Management Entity);

MO — сообщение, отправленное с мобильного устройства (Mobile Originated);

MONTE — мониторинг устройств (Monitoring Events);

MQTT — протокол обмена сообщениями по шаблону издатель — подписчик (Message Queuing Telemetry Transport);

MQTT-SN — протокол MQTT для сенсорных сетей (MQTT for Sensor Networks);

MT — сообщение, доставленное на мобильное устройство (Mobile terminated);

NAS — сигнальный протокол, не терминируемый на узлах сети радиодоступа (Non-access Stratum);

NCCE — элемент узкополосного канала управления (Narrowband control channel element);

NEF — функция обеспечения взаимодействия с внешними приложениями (Network Exposure Function);

NIDD — передача данных без использования стека протоколов IP (Non-IP Data Delivery);

NPBCH — узкополосный физический широковещательный канал (Narrowband PHysical BRoadcast CHanneL);

NPDCCH — узкополосный физический downlink-канал управления (Narrowband Physical Downlink Control Channel);

NPDSCH — узкополосный физический общий downlink-канал (Narrowband Physical Downlink Shared Channel);

NPRACH — узкополосный физический канал случайного доступа (Narrowband Physical Random Access Channel);

NPRS — узкополосный референсный сигнал позиционирования (Narrowband Positioning Reference Signal);

NPSS — сигнал первичной синхронизации (Narrowband Primary Synchronization Signal);

NPUSCH — узкополосный физический uplink-канал общего пользования (Narrowband Physical Uplink Shared Channel);

NRS — узкополосный референсный сигнал (Narrowband Reference Signal);

NSSS — сигнал вторичной синхронизации (Narrowband Secondary Synchronization Signal);

NTN — неназемные сети связи (Non-terrestrial Network);

NWUS — узкополосный сигнал пробуждения (Narrowband wake up signal);
OFDM — мультиплексирование с ортогональным частотным разделением (Orthogonal Frequency Division Multiplexing);
OFDMA — ортогональный многостанционный доступ с частотным разделением каналов (Orthogonal Frequency Division Multiple Access);
PCCH — канал посылки пейджинговых сообщений (Paging Control Channel);
PCF — функция управления политиками (Policy Control Function);
PCH — пейджинговый канал (Paging Channel);
PDCP — протокол управления пакетными данными (Packet Data Convergence Protocol);
PDU — блок протокольных данных (Protocol Data Unit);
PGW — пакетный шлюз (Packet Data Network Gateway);
PHY — физический уровень (Physical Layer);
PSM — режим экономии энергии (Power Saving Mode);
PtP — точка-точка (Point-to-point);
QoS — качество обслуживания (Quality of Service);
QPSK — квадратурная фазовая манипуляция (Quadrature Phase Shift Keying);
RACH — транспортный канал случайного доступа (Random Access CHannel);
RAU — корректировка зоны маршрутизации (Routing Area Update);
REST — передача состояния представления (Representational State Transfer);
RLC — протокол управления радиоканалом (Radio Link Control);
RRC — протокол управления радиоресурсами (Radio Resource Control);
S1-U — интерфейс связи между eNodeB и SGW (S1 — User Plane);
S1AP — протокол прикладного уровня между eNodeB и MME (S1 — Application protocol);
SAP — точка доступа к службам (Service Access Point);
SC-FDMA — множественный доступ с частотным разделением каналов с одной несущей частотой (Single-carrier Frequency Division Multiple Access);
SCADA — диспетчерское управление и сбор данных (Supervisory Control and Data Acquisition);
SCEF — узел экспонирования сервисных возможностей (Service Capability Exposure Function);
SCTP — протокол передачи с управлением потока — протокол транспортного уровня (Stream Control Transmission Protocol);
SDU — блок служебных данных (Service Data Unit);
SGi — интерфейс между PGW и внешними IP-сетями (Service Gateway Interface);
SGSN — обслуживающий узел поддержки GPRS (Serving GPRS support node);
SGW — обслуживающий шлюз (Serving Gateway);
SIB — блок системной информации (System information block);
SMF — функция управления сессиями (Session Management Function);
SMPP — одноранговая передача коротких сообщений (Short Message Peer-to-peer);
SMS — служба коротких сообщений (Short Message Service);
SMSC — SMS-центр (SMS Centre);
TA — временная компенсация (Timing Advance);
TAU — обновление зоны отслеживания (Tracking Area Update);
TCP — протокол управления передачей (Transmission Control Protocol);
TDD — временное разделение каналов (Time Division Duplex);
TM — прозрачный режим (Transparent Mode);
TTC — технология передачи «телеметрия, отслеживание, управление» (Telemetry, Track and Command);
UCI — управляющая информация uplink-канала (Uplink Control Information);

UDM — модуль управления данными пользователей (Unified Data Management);
UDP — протокол пользовательских датаграмм (User Diagram Protocol);
UE — абонентское устройство (User Equipment);
UL-SCH — общий канал для передачи данных вверх (Uplink Shared Channel);
UM — режим передачи без подтверждений (Unacknowledged Mode);
UP — пользовательская плоскость в сетях связи (User Plane);
UPF — функция передачи данных пользователей (User Plane Function);
VPN — виртуальная частная сеть (Virtual Private Network);
16QAM — квадратурная амплитудная модуляция с числом уровней 16 (16-Quadrature amplitude Modulation);
2G — мобильная связь второго поколения (2-nd Generation);
3G — мобильная связь третьего поколения (3-rd Generation);
3GPP — партнерский проект по развитию систем третьего поколения (3-rd Generation Partnership Project);
4G — мобильная связь четвертого поколения (4-th Generation);
5G — мобильная связь пятого поколения (5-th Generation).

3.2 В настоящем стандарте применены следующие обозначения:

F_{UL_low} — низшая частота uplink-канала;
F_{UL_high} — высшая частота uplink-канала;
F_{DL_low} — низшая частота downlink-канала;
F_{DL_high} — высшая частота downlink-канала;
$N_{Offs\text{-}DL}$ — смещение для расчета EARFCN downlink-канала;
$N_{Offs\text{-}UL}$ — смещение для расчета EARFCN uplink-канала.

4 Параметры радиоинтерфейса для функционирования NB-IoT

4.1 Диапазоны рабочих частот downlink- и uplink-каналов NB-IoT*

Диапазоны рабочих частот downlink- и uplink-каналов NB-IoT* приведены в таблице 1 [1].

Таблица 1 — Диапазоны рабочих частот downlink- и uplink-каналов NB-IoT

Номер диапазона рабочих частот	Диапазон рабочих частот uplink-канала, МГц	Диапазон рабочих частот downlink-канала, МГц	Режим дуплекса
	F_{UL_low} — F_{UL_high}	F_{DL_low} — F_{DL_high}	
1	1920—1980	2110—2170	FDD
2	1850—1910	1930—1990	FDD
3	1710—1785	1805—1880	FDD
4	1710—1755	2110—2155	FDD
5	824—849	869—894	FDD
7	2500—2570	2620—2690	FDD
8	880—915	925—960	FDD
11	1427,9—1447,9	1475,9—1495,9	FDD

* На территории Российской Федерации использование частот должно осуществляться в соответствии с решением Государственной комиссии по радиочастотам от 28 декабря 2017 г. № 17-44-06.

Окончание таблицы 1

Номер диапазона рабочих частот	Диапазон рабочих частот uplink-канала, МГц	Диапазон рабочих частот downlink-канала, МГц	Режим дуплекса
	F_{UL_low} — F_{UL_high}	F_{DL_low} — F_{DL_high}	
12	699—716	729—746	FDD
13	777—787	746—756	FDD
14	788—798	758—768	FDD
17	704—716	734—746	FDD
18	815—830	860—875	FDD
19	830—845	875—890	FDD
20	832—862	791—821	FDD
21	1447,9—1462,9	1495,9—1510,9	FDD
24	1626,5—1660,5	1525—1559	FDD
25	1850—1915	1930—1995	FDD
26	814—849	859—894	FDD
28	703—748	758—803	FDD
31	452,5—457,5	462,5—467,5	FDD
41	2496—2690	2496—2690	TDD
42	3400—3600	3400—3600	TDD
43	3600—3800	3600—3800	TDD
48	3550—3700	3550—3700	TDD
54	1670—1675	1670—1675	TDD
65	1920—2010	2110—2200	FDD
66	1710—1780	2110—2200	FDD
70	1695—1710	1995—2020	FDD
71	663—698	617—652	FDD
72	451—456	461—466	FDD
73	450—455	460—465	FDD
74	1427—1470	1475—1518	FDD
85	698—716	728—746	FDD
87	410—415	420—425	FDD
88	412—417	422—427	FDD
103*	787—788	757—758	FDD
* Указанная полоса частот предназначена только для режима работы Standalone.			

4.2 Конфигурации частотного ресурса канала передачи данных NB-IoT

Существует несколько конфигураций частотного ресурса канала передачи данных NB-IoT:
- Standalone — независимая работа канала NB-IoT;
- Guard-band — работа канала NB-IoT в защитном интервале полосы канала LTE;
- In-band — работа канала NB-IoT внутри канала LTE.

Конфигурация полосы пропускания канала приведена в таблице 2.

Таблица 2 — Конфигурация полосы пропускания канала LTE

Полоса пропускания канала LTE $BW_{Channel}$, МГц	1,4	3	5	10	15	20
Число ресурсных блоков N_{RB}	6	15	25	50	75	100

Конфигурации полосы пропускания каналов NB-IoT указаны в таблице 3.

Таблица 3 — Конфигурации полосы пропускания каналов NB-IoT

Параметр	Standalone	In-band	Guard-band
Полоса пропускания канала $BW_{Channel}$, кГц	200	Полоса пропускания, указанная в таблице 2, $BW_{Channel}$ > 1,4 МГц	Полоса пропускания, указанная в таблице 2, $BW_{Channel}$ > 3 МГц
Количество ресурсных блоков N_{RB} в полосе пропускания передачи, ед.	1	1	1
Количество поднесущих в конфигурации полосы пропускания передачи $N_{tone\ 15\ кГц}$, ед.	12	12	12
Количество поднесущих в конфигурации полосы пропускания передачи $N_{tone\ 3,75\ кГц}$, ед.	48	48	48

На рисунке 1 показаны варианты размещения канала NB-IoT в режиме Standalone.

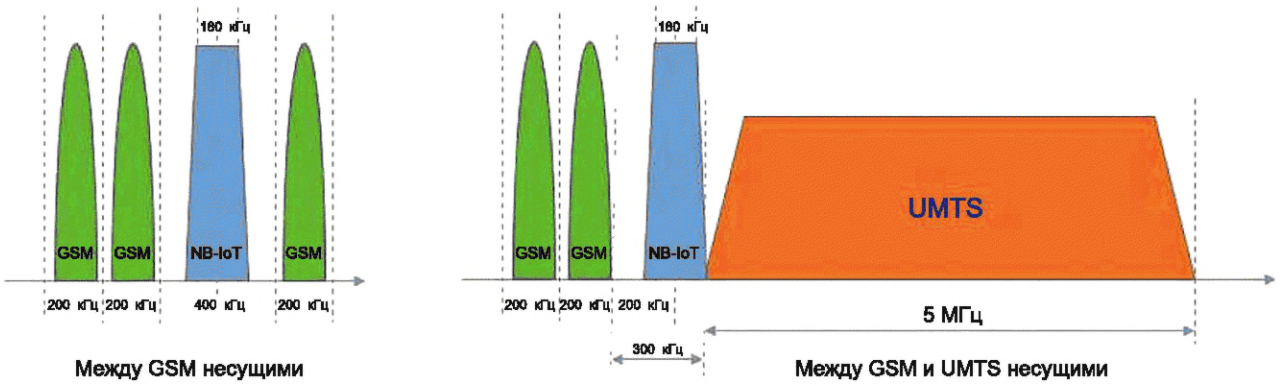


Рисунок 1 — Варианты размещения канала NB-IoT в режиме Standalone

На рисунке 2 показано размещение канала NB-IoT в режиме In-band.

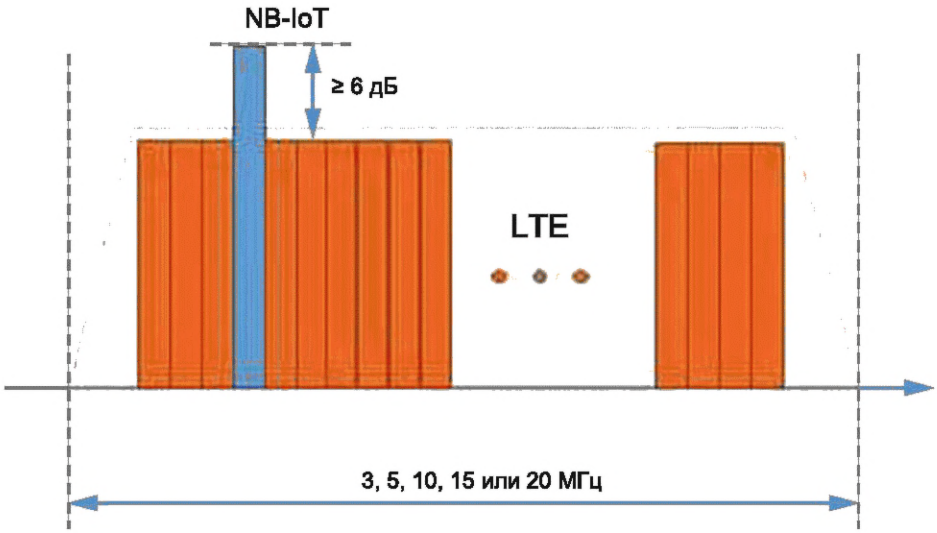


Рисунок 2 — Размещение и конфигурация полосы пропускания канала NB-IoT в режиме работы In-band

На рисунке 3 показано размещение канала NB-IoT в режиме Guard-band.

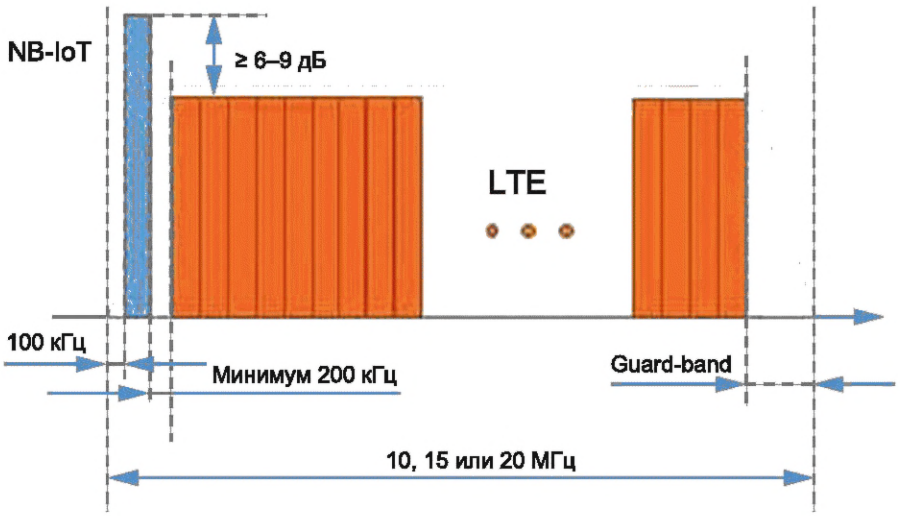


Рисунок 3 — Размещение и конфигурация полосы пропускания канала NB-IoT в режиме работы Guard-band

4.3 Расположение NB-IoT каналов

Несущая частота downlink-канала NB-IoT обозначается EARFCN в диапазоне от 0 до 262 143 и смещением номера канала NB-IoT по отношению к EARFCN в диапазоне {−10; −9; −8; −7; −6; −5; −4; −3; −2; −1; −0,5; 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9} для FDD и в диапазоне {−10; −9; −8,5; −8; −7; −6; −5; −4,5; −4; −3; −2; −1; −0,5; 0; 1; 2; 3; 3,5; 4; 5; 6; 7; 7,5; 8; 9} для TDD.

Соотношение между EARFCN, смещением номера канала NB-IoT по отношению к EARFCN и несущей частотой в МГц downlink-канала определяют выражением:

$$F_{DL} = F_{DL_low} + 0{,}1 \cdot (N_{DL} - N_{Offs\text{-}DL}) + 0{,}0025 \cdot (2M_{DL}+1),$$

где F_{DL} — несущая частота downlink-канала NB-IoT;

F_{DL_low} и $N_{Offs\text{-}DL}$ указаны в таблице 4;

N_{DL} — EARFCN downlink-канала;

M_{DL} — смещение номера канала NB-IoT по отношению к EARFCN downlink-канала.

Несущая частота uplink-канала NB-IoT обозначается EARFCN в диапазоне от 0 до 262 143 и смещением номера канала NB-IoT по отношению к EARFCN в диапазоне {−10; −9; −8; −7; −6; −5; −4; −3; −2; −1; 0; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9} для FDD и в диапазоне {−11; −10; −9,5; −9; −8,5; −8; −7,5; −7; −6,5; −6; −5,5; −5; −4,5; −4; −3,5; −3; −2,5; −2; −1,5; −1; −0,5; 0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; 7,5; 8; 8,5; 9; 9,5; 10; 11} для TDD.

Соотношение между EARFCN, смещением номера канала NB-IoT по отношению к EARFCN и несущей частотой в МГц uplink-канала определяют выражением:

$$F_{UL} = F_{UL_low} + 0{,}1\cdot(N_{UL} - N_{Offs\text{-}UL}) + 0{,}0025\cdot(2M_{UL}),$$

где F_{UL} — несущая частота uplink-канала NB-IoT;

F_{UL_low} и $N_{Offs\text{-}UL}$ указаны в таблице 4;

N_{UL} — EARFCN uplink-канала;

M_{UL} — смещение номера канала NB-IoT по отношению к EARFCN uplink-канала.

Разнос несущих соседних частотных каналов, имеющих полосы пропускания канала $BW_{Channel(1)}$ и $BW_{Channel(2)}$, определяется как $(BW_{Channel(1)} + BW_{Channel(2)})/2$.

Шаг сетки частот канала составляет 100 кГц для всех диапазонов частот, т. е. центральная частота несущей должна быть целым числом, кратным 100 кГц.

Примечания

1 Для режимов работы In-band или Guard-band значения N_{DL} или N_{UL} отличаются от значения EARFCN, соответствующего несущей частоте downlink- или uplink-канала.

2 Для режима работы In-band или Guard-band в случае FDD не применимо значение $M_{DL} = -0{,}5$; в случае TDD не применимы значения M_{DL} {−0,5; +3,5; −4,5; +7,5; −8,5}.

Значения EARFCN для различных диапазонов рабочих частот для функционирования NB-IoT приведены в таблице 4*.

Таблица 4 — Значения EARFCN для различных диапазонов рабочих частот для функционирования NB-IoT

Номер диапазона рабочих частот	Downlink-канал			Uplink-канал		
	F_{DL_low}, МГц	$N_{Offs\text{-}DL}$	Диапазон значений N_{DL}	F_{UL_low}, МГц	$N_{Offs\text{-}UL}$	Диапазон значений N_{UL}
1	2110	0	0—599	1920	18 000	18 000—18 599
2	1930	600	600—1199	1850	18 600	18 600—19 199
3	1805	1200	1200—1949	1710	19 200	19 200—19 949
4	2110	1950	1950—2399	1710	19 950	19 950—20 399
5	869	2400	2400—2649	824	20 400	20 400—20 649
7	2620	2750	2750—3449	2500	20 750	20 750—21 449
8	925	3450	3450—3799	880	21 450	21 450—21 799
11	1475,9	4750	4750—4949	1427,9	22 750	22 750—22 949
12	729	5010	5010—5179	699	23 010	23 010—23 179
13	746	5180	5180—5279	777	23 180	23 180—23 279
14	758	5280	5280—5379	788	23 280	23 280—23 379
17	734	5730	5730—5849	704	23 730	23 730—23 849
18	860	5850	5850—5999	815	23 850	23 850—23 999
19	875	6000	6000—6149	830	24 000	24 000—24 149

* На территории Российской Федерации использование указанных параметров должно осуществляться в соответствии с Приказом Министерства связи и массовых коммуникаций РФ от 6 июня 2011 г. № 128 «Об утверждении Правил применения абонентских терминалов сетей подвижной радиотелефонной связи стандарта LTE».

Окончание таблицы 4

Номер диапазона рабочих частот	Downlink-канал			Uplink-канал		
	F_{DL_low}, МГц	$N_{Offs-DL}$	Диапазон значений N_{DL}	F_{UL_low}, МГц	$N_{Offs-UL}$	Диапазон значений N_{UL}
20	791	6150	6150—6449	832	24 150	24 150—24 449
21	1495,9	6450	6450—6599	1447,9	24 450	24 450—24 599
24	1525	7700	7700—8039	1626,5	25 700	25 700—26 039
25	1930	8040	8040—8689	1850	26 040	26 040—26 689
26	859	8690	8690—9039	814	26 690	26 690—27 039
28	758	9210	9210—9659	703	27 210	27 210—27 659
31	462,5	9870	9870—9919	452,5	27 760	27 760—27 809
41	2496	39 650	39 650—41 589	2496	39 650	39 650—41 589
42	3400	41 590	41 590—43 589	3400	41 590	41 590—43 589
43	3600	43 590	43 590—45 589	3600	43 590	43 590—45 589
48	3550	55 240	55 240—56 739	3550	55 240	55 240—56 739
54	1670	60 255	60 255—60 304	1670	60 255	60 255—60 304
65	2110	65 536	65 536—66 435	1920	131 072	131 072—131 971
66	2110	66 436	66 436—67 335	1710	131 972	131 972—132 671
70	1995	68 336	68 336—68 585	1695	132 972	132 972—133 121
71	617	68 586	68 586—68 935	663	133 122	133 122—133 471
72	461	68 936	68 936—68 985	451	133 472	133 472—133 521
73	460	68 986	68 986—69 035	450	133 522	133 522—133 571
74	1475	69 036	69 036—69 465	1427	133 572	133 572—134 001
85	728	70 366	70 366—70 545	698	134 002	134 002—134 181
87	420	70 546	70 546—70 595	410	134 182	134 182—134 231
88	422	70 596	70 596—70 645	412	134 232	134 232—134 281
103	757	70 646	70 646—70 655	787	134 282	134 282—134 291

5 Категории абонентских устройств NB-IoT

Настоящий стандарт определяет две категории абонентских устройств NB-IoT. Основные параметры категорий NB1 и NB2 представлены в таблице 5 [2].

Таблица 5 — Основные параметры категорий абонентских устройств NB-IoT

Параметр	Категория	
	NB1	NB2
Полоса пропускания канала	200 кГц	
Разнос каналов в режиме Standalone	200 кГц	
Разнос каналов в режимах In-band и Guard-band	180 кГц	
Шаг сетки частот канала (во всех режимах)	100 кГц	

Окончание таблицы 5

Параметр	Категория	
	NB1	NB2
Максимальная выходная мощность[1)]	(23 ± 2) дБм (класс мощности устройств 3), (20 ± 2) дБм (класс мощности устройств 5), (14 ± 2,5) дБм (класс мощности устройств 6)	
Минимальная выходная мощность[2)]	–40 дБм, не более	
Мощность излучения при отсутствии передачи[2)]	–50 дБм, не более	
Погрешность установки частоты	При частоте несущей ≤ 1 ГГц: ±0,2 ppm При частоте несущей > 1 ГГц: ±0,1 ppm	
Эталонная чувствительность[3)]	–108,2 дБм	
Максимальный уровень сигнала на входе приемника[3)]	–25 дБм, не более	
Число HARQ процессов	1	1 или 2
Максимальное число передач HARQ	4	
Число блоков кода	1	
Количество бит в подкадре	320	320 или 640
Скорость канального кодирования	1/3	1/2, 1/3 или 3/4
Схема кодирования DL	OFDMA	
Схема кодирования UL	SC-FDMA	
Модуляция	QPSK, BPSK, 16QAM	
Коэффициент усиления антенны	Не более 0 дБи	

[1)] Для разноса поднесущих 3,75 кГц мощность определяется как средняя мощность измерения, период которой составляет как минимум один слот (2 мс), исключая интервал 2304Ts, когда абонентское устройство не осуществляет передачу. Для разноса поднесущих 15 кГц мощность определяется как средняя мощность измерения, период которой составляет как минимум один подкадр (1 мс).

[2)] Для разноса поднесущих 3,75 кГц мощность определяется как средняя мощность в одном слоте (2 мс) за исключением интервала 2304Ts, когда абонентское устройство не осуществляет передачу. Для разноса поднесущих 15 кГц мощность определяется как средняя мощность в одном подкадре (1 мс).

[3)] Пропускная способность оборудования должна составлять ≥95 % от максимальной пропускной способности эталонного измерительного канала [2].

Допустимые уровни внеполосных излучений абонентских устройств категорий NB1 или NB2 указаны в таблице 6. Значения допустимых уровней внеполосных излучений для значений частот Δf_{OOB} между указанными в таблице линейно интерполируются. Для значений частот Δf_{OOB}, больше указанных в таблице, применяются требования к уровням побочных излучений.

Таблица 6 — Допустимые уровни внеполосных излучений абонентских устройств категорий NB1 и NB2

Частота внеполосного излучения Δf_{OOB}, кГц	Допустимый уровень внеполосных излучений, дБм	Ширина полосы измерительного фильтра, кГц
±0	26	30
±100	–5	30
±150	–8	30
±300	–29	30
±500—1700	–35	30

Допустимые уровни побочных излучений абонентских устройств категорий NB1 или NB2 указаны в таблице 7.

Таблица 7 — Допустимые уровни побочных излучений абонентских устройств категорий NB1 и NB2

Диапазон частот	Допустимый уровень побочных излучений, дБм	Ширина полосы измерительного фильтра
9—150 кГц	–36	1 кГц
150 кГц—30 МГц	–36	10 кГц
30 МГц—1 ГГц	–36	100 кГц
1—12,75 ГГЦ	–30	1 МГц
12,75 ГГц — 5-я гармоника верхнего частотного края рабочей полосы UL	–30	1 МГц

Минимальный набор рекомендуемых функций для абонентских устройств категорий NB1 и NB2, определен в таблице 8.

Таблица 8 — Минимальный набор рекомендуемых функций для абонентских устройств категорий NB1 и NB2

Наименование функции	Описание
PSM configurations	Конфигурирование режима глубокого энергосбережения PSM
eDRX configurations	Конфигурирование расширенного интервала работы без обязательных сигнальных сообщений eDRX
Data Transport in Control Plane CIoT EPS optimization	Использование программированного режима сотового интернета вещей CIoT и EPS
Deployment mode	Поддержка всех режимов работы (Standalone, In-band, Guard-band)
Support for NIDD	NIDD передача пользовательских данных без IP
SMS for NB-IoT only UEs	Управление UE через SMS
Cell Reselection	Выбор соты
Coverage Extension	Расширение зоны покрытия
Rate Control	Контроль скорости обмена данными

6 Архитектура сети NB-IoT

6.1 Общая архитектура

Общая архитектура сети NB-IoT представлена на рисунке 4 [3].

Основные каналы коммуникаций включают Control Plane (CP) и User Plane (UP). Control Plane предназначен для обмена служебными сообщениями между различными элементами сети и служит для обеспечения мобильности абонентских устройств и установления/поддержания сессии передачи данных. User Plane — это канал передачи пользовательских данных.

Механизмы оптимизации CP и UP (CIoT EPS optimization) для NB-IoT реализованы на узлах MME, SGW и PGW, которые объединяются в единый элемент CSGN. Несмотря на то, что CP предназначен для передачи сигнальной информации, в NB-IoT он адаптирован для передачи пользовательских данных (как IP, так и non-IP) и SMS в сообщениях NAS. В NB-IoT передача SMS обеспечивается без регистрации устройства в голосовом домене.

Для абонентских устройств NB-IoT поддержка CP CIoT оптимизации является обязательной. Поскольку CP использует плоскость управления для пересылки пакетов данных, передача или прием сообщений отправляется, как сообщения сигнализации NAS, между UE и MME. По сравнению с процедурой Service Request, UE избегает установки безопасности Access Stratum и установления сквозных каналов (default bearer), необходимых при каждой передаче данных.

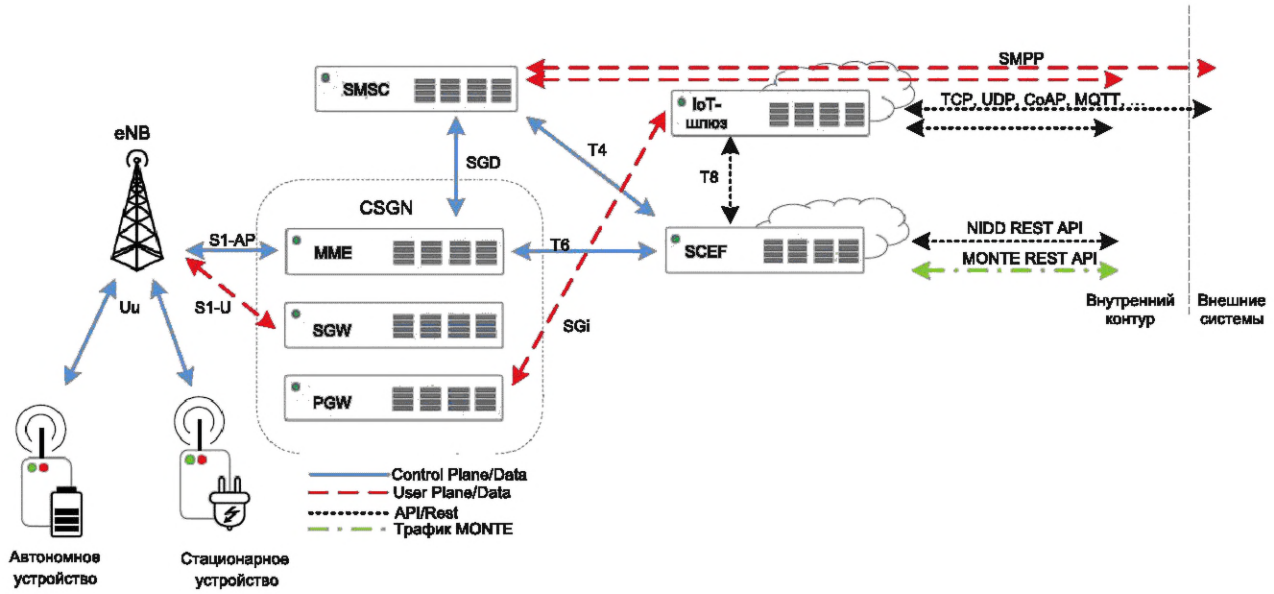


Рисунок 4 — Общая схема сети NB-IoT

CP CIoT оптимизация обеспечивает поддержку эффективной транспортировки пользовательских данных или SMS-сообщений через CP через MME без запуска установления радиоканала.

Элемент SCEF представляет собой узел экспонирования сервисных возможностей и является посредником между сетью и сервером приложений AS. SCEF включает в себя функции идентификации/аутентификации абонентских устройств и определения правил обмена данными между устройством и AS, предоставляя возможность серверам приложений получать данные и управлять устройствами через единый API-интерфейс. SCEF также является единым окном доступа к набору сервисов оператора по управлению и контролю за абонентскими устройствами.

При использовании SCEF идентификатором абонентского устройства является «external ID», который определяется в формате «<Local Identifier>@<Domain Identifier>».

Ключевые функции и сервисы SCEF включают:

- привязка идентификатора сим-карты (IMSI) к external ID;
- NIDD передача;
- групповые операции, с использованием external group ID;
- поддержка режима передачи данных с подтверждением;
- буферизация MT данных;
- аутентификация и авторизация устройств и серверов приложений;
- одновременное использование данных одного абонентского устройства несколькими AS;
- поддержка специальных функций контроля состояния абонентского устройства (MONTE);
- триггеринг устройств (передача данных в SMS);
- обеспечение роуминга non-IP данных.

В состав сети NB-IoT может быть включен IoT-шлюз — IoT-платформа, обеспечивающая интеграцию с устройствами, получение от них данных с использованием ряда стандартных протоколов, конвертацию, хранение, обработку, визуализацию и передачу данных во внешние сервера приложений с использованием REST API.

В сети NB-IoT рекомендуется применять следующие способы передачи данных в порядке убывания предпочтения:

- режим передачи NIDD;
- протокол передачи данных CoAP (стек IP/UDP);
- протоколы MQTT-SN и LWM2M (стек IP/UDP);
- проприетарные бинарные протоколы на основе UDP.

6.2 Архитектура сети для передачи пакетов NIDD

6.2.1 Передача NIDD без SCEF через интерфейс SGi

В случае отсутствия SCEF, non-IP данные могут передаваться к AS через Point-to-Point (PtP) тоннель от PGW, в таком случае инкапсуляция в IP производится на нем. Сервер приложений может быть подключен непосредственно к PGW. Адрес сервера приложений определяется на этапе создания APN. В случае если требуется конверсия протоколов, интеграция может осуществляться через IoT-шлюз.

Передача данных применима ко всем протоколам на основе UDP: CoAP, LWM2M, проприетарные протоколы. Интеграция может быть проведена как для внешних серверов приложений, так и для доверенных серверов приложений, расположенных внутри контура сети.

Архитектура сети для передачи NIDD без SCEF представлена на рисунке 5 [3].

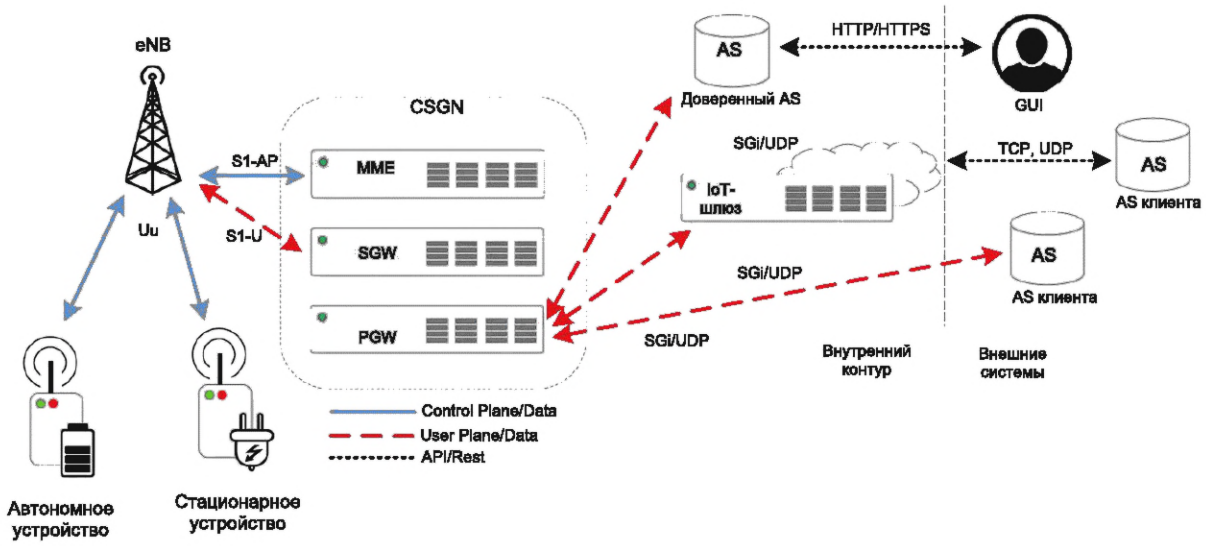


Рисунок 5 — Передача NIDD без SCEF через интерфейс SGi

Для данного вида передачи существуют следующие ограничения:

- требуется поддержка UDP API со стороны AS;
- требуется реализация идентификации и аутентификации устройств на уровне приложения как со стороны AS, так и со стороны устройства. Это приводит к увеличению передаваемого объема служебной информации и увеличивает нагрузку на сеть NB-IoT;
- обратный канал (управления устройством) доступен не в произвольные моменты времени, а только в короткие промежутки времени после передачи данных от устройства. Снятие данного ограничения возможно путем использования статических IP-адресов и выделенного корпоративного APN;
- доставка данных не гарантируется на уровне транспортного протокола UDP при передаче между CSGN/PGW и AS, необходима реализация гарантированной доставки на уровне приложения (протоколы CoAP, LWM2M и др.);
- взаимодействие возможно только с одним AS PtP.

6.2.2 Передача NIDD через SCEF

Для интеграции с доверенными серверами приложений, расположенными в контуре сети, и с приложениями, подключенными через частные VPN, может быть использована прямая интеграция с SCEF.

Архитектура сети для передачи NIDD через SCEF представлена на рисунке 6 [3].

Взаимодействие сервера приложений с SCEF осуществляется по NIDD REST API. Информация о доступности устройств передается по MONTE REST API.

Технология оптимизации передачи данных NIDD NB-IoT не использует стек протоколов IP и позволяет сократить время нахождения устройств в активном состоянии, обеспечивает обслуживание большего количества устройств в одной локации, улучшает энергоэффективность и обеспечивает безопасность устройств при доступе извне, так как взаимодействие с устройством осуществляется через узел SCEF без прямого доступа устройства в сеть Интернет.

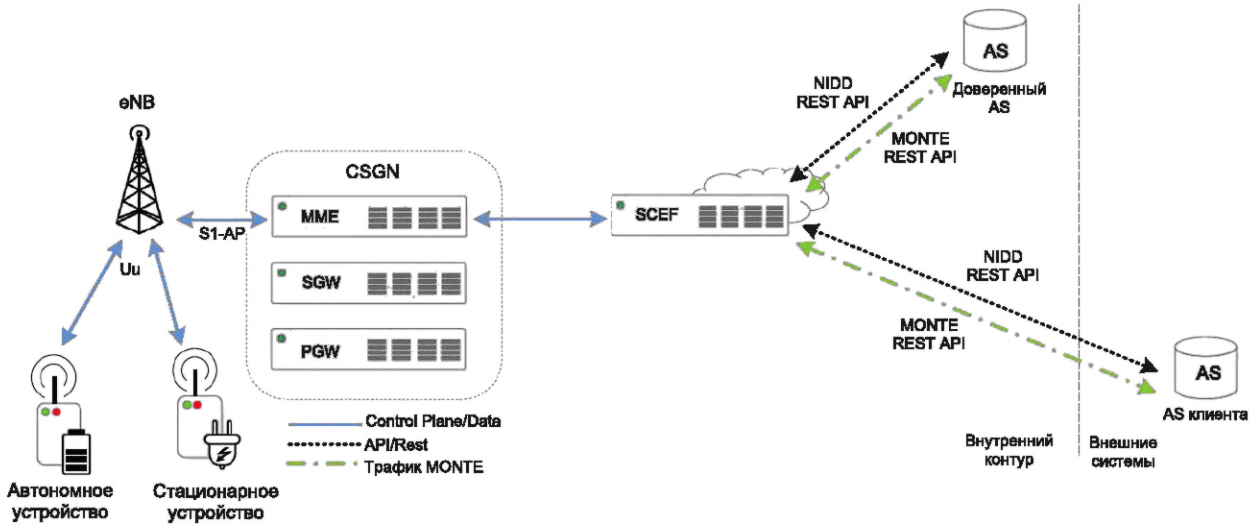


Рисунок 6 — Передача NIDD через SCEF

6.3 Архитектура сети для передачи данных IP

Сервер приложений может быть подключен непосредственно к PGW. Данные передаются через интерфейс PGW SGi. Адрес сервера приложений определяется при установлении устройством IP-соединения. В случае если требуется конверсия протоколов, интеграция может осуществляться через IoT-шлюз.

Передача данных применима ко всем протоколам, базирующимся на IP: TCP, UDP, CoAP, LWM2M, HTTP, MQTT и т. д. Интеграция может быть проведена как для внешних серверов приложений, так и для доверенных серверов приложений, расположенных внутри контура сети.

Архитектура сети для передачи данных IP представлена на рисунке 7 [3].

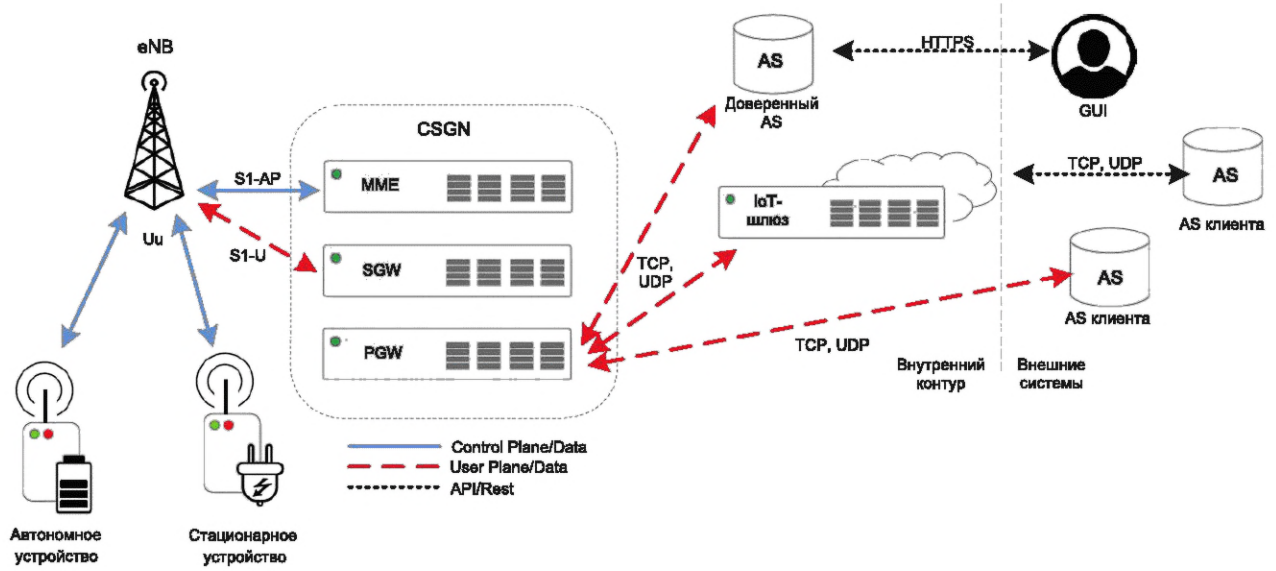


Рисунок 7 — Передача данных IP

Для передачи данных устройство должно открыть IP-сессию, после чего данные передаются непосредственно на IP-адрес сервера приложений.

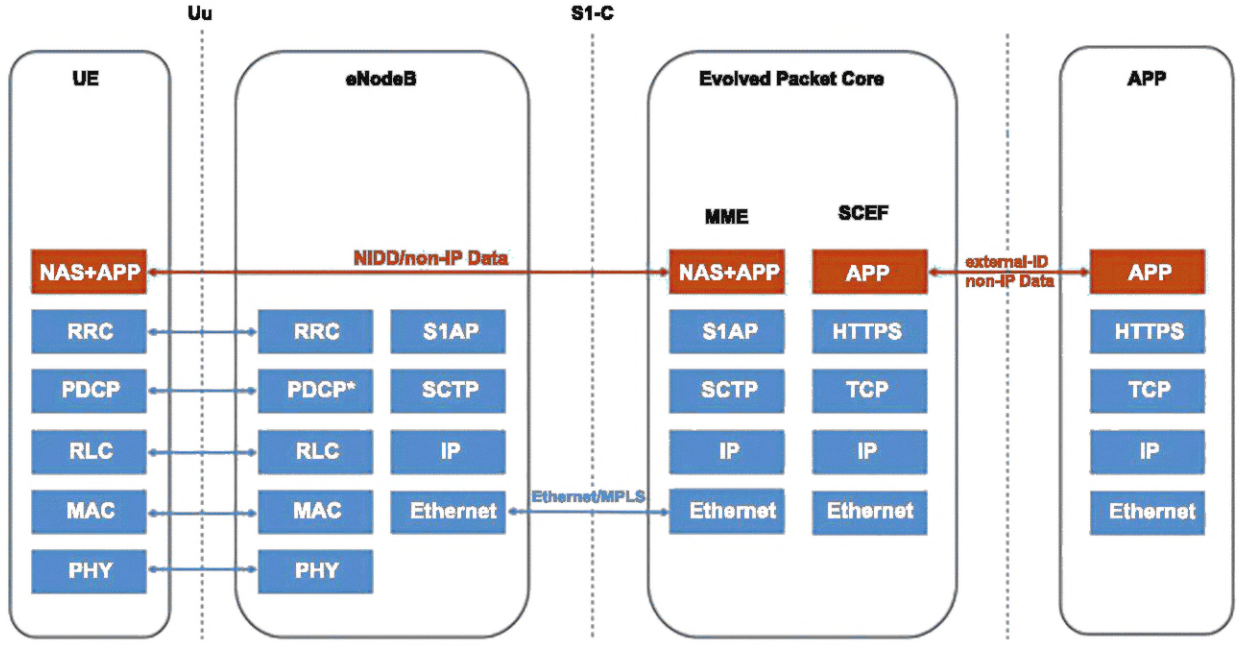
Данный метод интеграции относится к нецелевым и не рекомендуется для массового применения. Рекомендуется интеграция с использованием NIDD. Допускается интеграция с использованием протокола UDP [4].

7 Стек протокола передачи данных NB-IoT

7.1 Стек протокола передачи данных

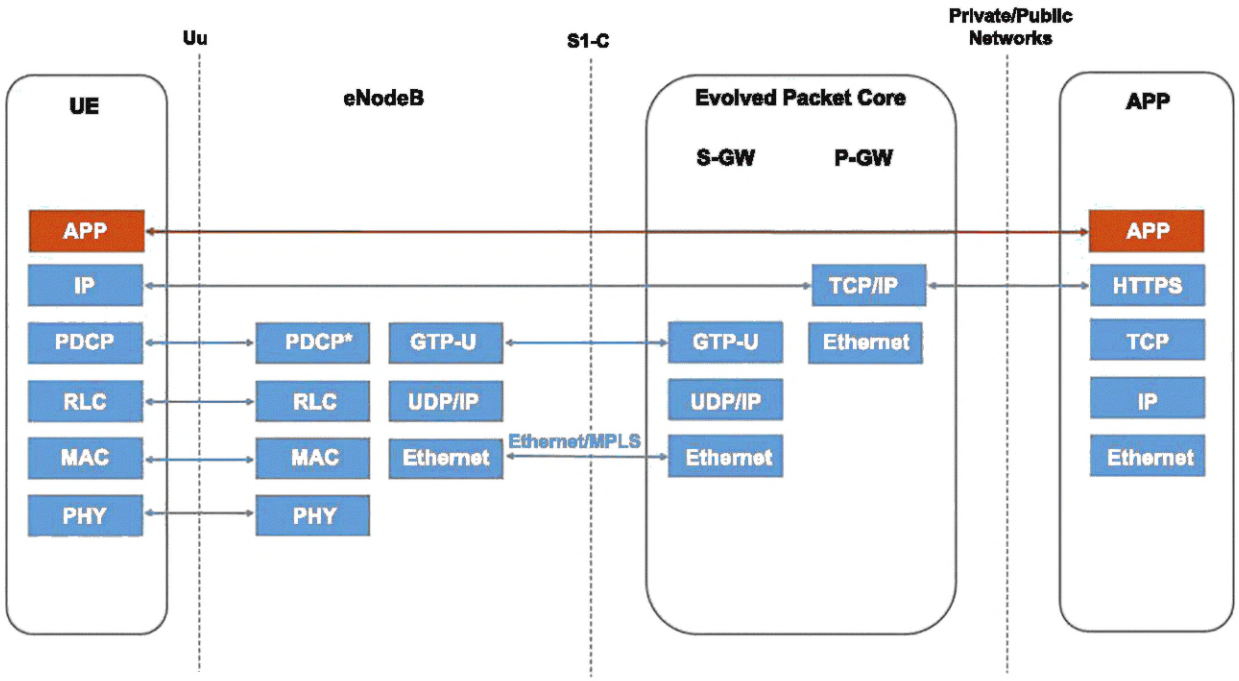
Стеки протокола передачи данных NB-IoT с использованием CP и UP представлены на рисунках 8 и 9.

В случае передачи данных NB-IoT с использованием CP для абонентских устройств, которые поддерживают только CP CIoT оптимизацию, PDCP не используется. Для абонентских устройств, которые поддерживают CP CIT оптимизацию и передачу данных S1-U или UP CIoT оптимизацию, PDCP не используется до тех пор, пока не будет активирована безопасность Access Stratum.



* Опционально.

Рисунок 8 — Стек протокола передачи данных NB-IoT с использованием CP



* Опционально.

Рисунок 9 — Стек протокола передачи данных NB-IoT с использованием UP

7.2 Взаимосвязь уровней стека и каналов передачи данных

Взаимосвязь уровней и каналов NB-IoT представлена на рисунке 10 [5].

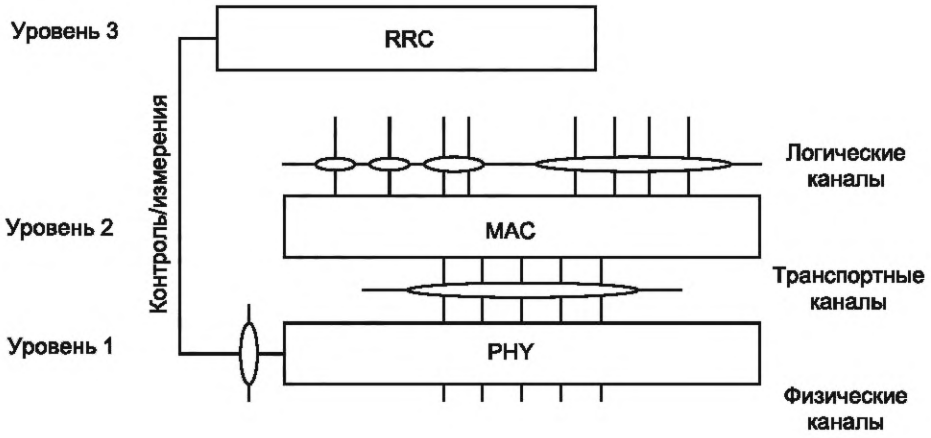


Рисунок 10 — Взаимосвязь уровней стека и каналов передачи данных

Овалы между различными уровнями/подуровнями на рисунке 10 обозначают точки доступа к службам (SAP). Уровень PHY предусматривает транспортный канал к MAC. Уровень MAC предусматривает логические каналы к RLC уровня 2.

Схема физических, транспортных и логических каналов в downlink-канале представлена на рисунке 11.

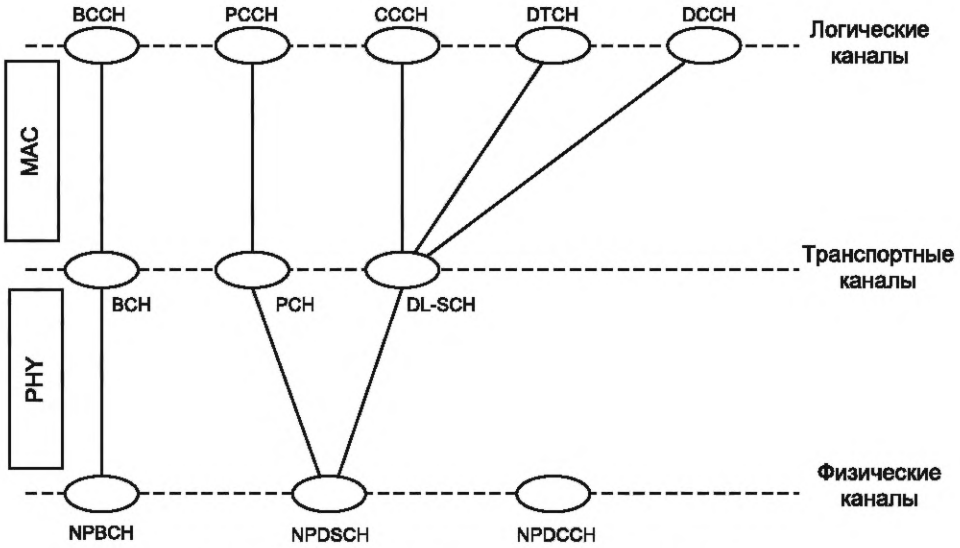


Рисунок 11 — Схема каналов в downlink-канале

Схема физических, транспортных и логических каналов в uplink-канале представлена на рисунке 12.

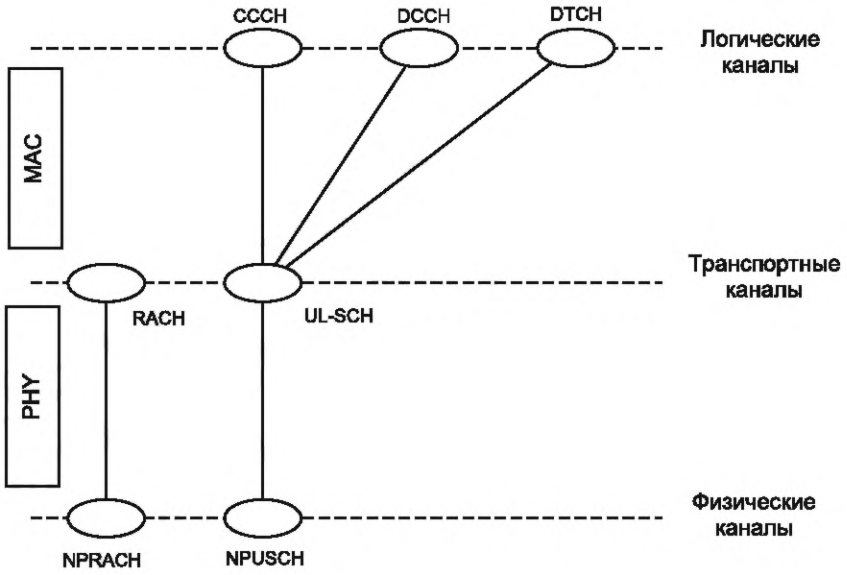


Рисунок 12 — Схема каналов в uplink-канале

7.3 Уровень PHY

7.3.1 Функции

Уровень PHY обеспечивает [6]:

- помехоустойчивое канальное кодирование, мультиплексирование и демультиплексирование данных, поступающих с верхних уровней;
- согласование скоростей информационных потоков, поступающих по транспортным каналам с сеткой скоростей, предоставляемых физическими каналами;
- сопоставление (mapping) транспортных каналов физическим каналам;
- модуляцию, расширение и сжатие спектра физических каналов;
- частотную и временную синхронизацию;
- измерение параметров канала и управление мощностью излучения по замкнутой петле;
- взвешивание и комбинирование физических каналов;
- радиочастотную обработку сигналов.

7.3.2 Downlink-канал

7.3.2.1 Физические каналы и сигналы

Для NB-IoT определены следующие физические downlink-каналы:

- NPBCH (Narrowband Physical Broadcast Channel) — узкополосный физический широковещательный канал;
- NPDSCH (Narrowband Physical Downlink Shared Channel) — узкополосный физический общий downlink-канал;
- NPDCCH (Narrowband Physical Downlink Control Channel) — узкополосный физический downlink-канал управления.

Для NB-IoT определены физические сигналы, используемые для целей синхронизации и измерений:

- NRS (Narrowband Reference Signal) — узкополосный референсный сигнал;
- NPSS/NSSS (Narrowband Primary/Secondary Synchronization Signals) — сигналы первичной и вторичной синхронизации;
- NPRS (Narrowband Positioning Reference Signal) — узкополосный референсный сигнал позиционирования;
- NWUS (Narrowband Wake Up Signal) — узкополосный сигнал пробуждения.

Формирование сигнала физического downlink-канала включает следующие этапы (см. рисунок 13):

- вставка CRC;
- кодирование канала;
- согласование скоростей;

- скремблирование кодированных битов в каждом из кодовых слов, передаваемых по физическому каналу;
- сопоставление скремблированных битов комплексным символам модуляции;
- сопоставление комплексных символов модуляции ресурсным элементам антенных портов;
- генерация комплексного сигнала OFDM для каждого антенного порта.

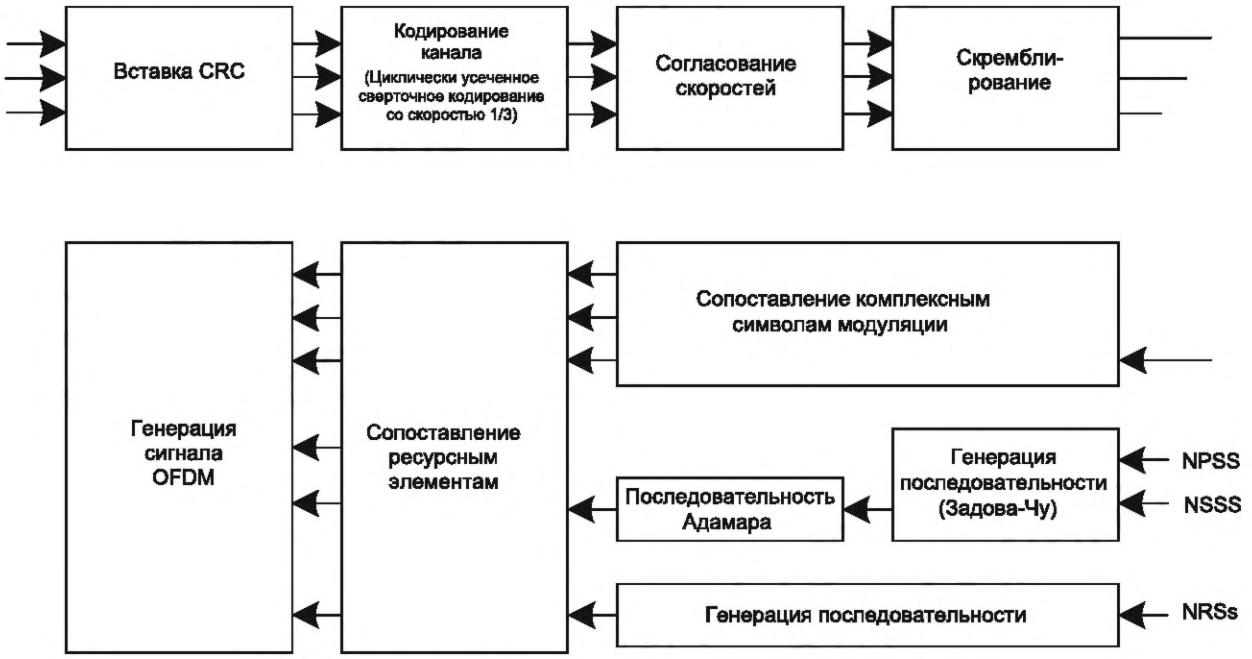


Рисунок 13 — Обработка физического downlink-канала

Модуляцию физических каналов проводят с использованием схем модуляции, указанных в таблице 9.

Таблица 9 — Схемы модуляции NPDSCH

Канал	Схемы модуляции
NPBCH	QPSK
NPDSCH	QPSK, 16QAM
NPDCCH	QPSK

7.3.2.2 Узкополосный физический общий канал NPDSCH

Абонентское устройство должно предполагать, что для передачи узкополосного физического широковещательного канала используются антенные порты 2000 и 2001.

Каждое кодовое слово NPDSCH может быть распределено в один или несколько подкадров, каждый из которых должен быть передан заданное число раз.

Для каждого из антенных портов, используемых для передачи физического канала, блок комплексных символов должен быть распределен на ресурсные элементы, которые соответствуют следующим критериям:

- подкадр не используется для передачи NPBCH, NPSS или NSSS;
- предполагается, что абонентское устройство не будет использовать данные ресурсные элементы для NRS, за исключением специального подкадра;
- не происходит перекрытия с ресурсными элементами, используемыми для CRS.

7.3.2.3 Узкополосный физический широковещательный канал NPBCH

Абонентское устройство должно предполагать, что для передачи NPBCH используются антенные порты 2000 и 2001. Для целей распределения абонентское устройство должно предполагать, что независимо от фактической конфигурации присутствуют специфичные для соты референсные сигналы для антенных портов 0—3 и узкополосные референсные сигналы для антенных портов 2000 и 2001.

7.3.2.4 Узкополосный физический downlink-канал управления NPDCCH

NPDCCH передает управляющую информацию (DCI) в виде совокупности одного или двух последовательных элементов канала управления (NCCE). Элемент канала управления NCCE соответствует 6 последовательным поднесущим в подкадре, NCCE 0 занимает поднесущие с 0 по 5, а NCCE 1 — поднесущие с 6 по 11. Различные форматы NPDCCH указаны в таблице 10. Для формата NPDCCH 1 два NCCE принадлежат одному и тому же подкадру.

В подкадре могут быть переданы один или два NPDCCH.

Таблица 10 — Форматы NPDCCH

Формат NPDCCH	Число NCCE
0	1
1	2

Распределение по ресурсным элементам на антенный порт p должно осуществляться в порядке возрастания сначала индекса k, а затем индекса l, начиная с первого слота и заканчивая вторым слотом в подкадре.

7.3.2.5 Узкополосный референсный сигнал NRS

Референсные сигналы передаются на один или два антенных порта.

Если на более высоких уровнях указано, что абонентское устройство может считать N_{ID}^{cell} равным N_{ID}^{Ncell}, то абонентское устройство может предположить:

- количество антенных портов для специфичных для соты референсных сигналов такое же, как и для узкополосных референсных сигналов;
- антенные порты для специфичных для соты референсных сигналов {0, 1} эквивалентны антенным портам для узкополосных референсных сигналов {2000, 2001};
- специфичные для соты референсные сигналы доступны во всех подкадрах, где доступны узкополосные референсные сигналы.

Если на более высоких уровнях не указано, что абонентское устройство может считать N_{ID}^{cell} равным N_{ID}^{Ncell}, то абонентское устройство может предположить:

- количество антенных портов для специфичных для соты референсных сигналов определяется из параметра более высокого уровня *eutra-NumCRS-Ports*;
- специфичные для соты референсные сигналы доступны во всех подкадрах, где доступны узкополосные референсные сигналы.

Ресурсные элементы (k, l), используемые для передачи узкополосных референсных сигналов на любом из антенных портов в слоте, не должны быть использованы для передачи на другом антенном порте в том же слоте или установлены на ноль.

Не допускается передача узкополосных референсных сигналов в подкадрах, содержащих NPSS или NSSS.

Не допускается передача узкополосных референсных сигналов в специальном подкадре для конфигураций 0 и 5 в случае структуры кадра типа 2.

На рисунке 14 показаны ресурсные элементы, используемые для передачи референсного сигнала. Обозначение R_p используется для обозначения ресурсного элемента, используемого для передачи референсного сигнала на антенный порт p.

7.3.2.6 Узкополосный референсный сигнал позиционирования NPRS

Передачу NPRS проводят только в ресурсных блоках несущих NB-IoT, настроенных для передачи NPRS. В подкадре для передачи NPRS начальные позиции символов OFDM для передачи NPRS должны быть идентичны позициям в подкадре, в котором все символы OFDM имеют ту же самую длину циклического префикса, что и символы OFDM для передачи NPRS. NPRS определяют только для Δf = 15kHz и нормального циклического префикса.

Передачу NPRS осуществляют через антенный порт 2006.

Если параметр более высокого уровня *nprsBitmap* не определен, для передачи NPRS не должны быть использованы ресурсные элементы в символах OFDM 5 и 6. Если периодичность NPRS типа 1 равна периодичности NPRS типа 2, предполагается, что абонентское устройство не настраивается с

перекрытием ресурсных элементов между NPRS типа 1 и NPRS типа 2. В обратном случае ресурсный элемент, настроенный для NPRS типа 1, не должен быть использован для NPRS типа 2.

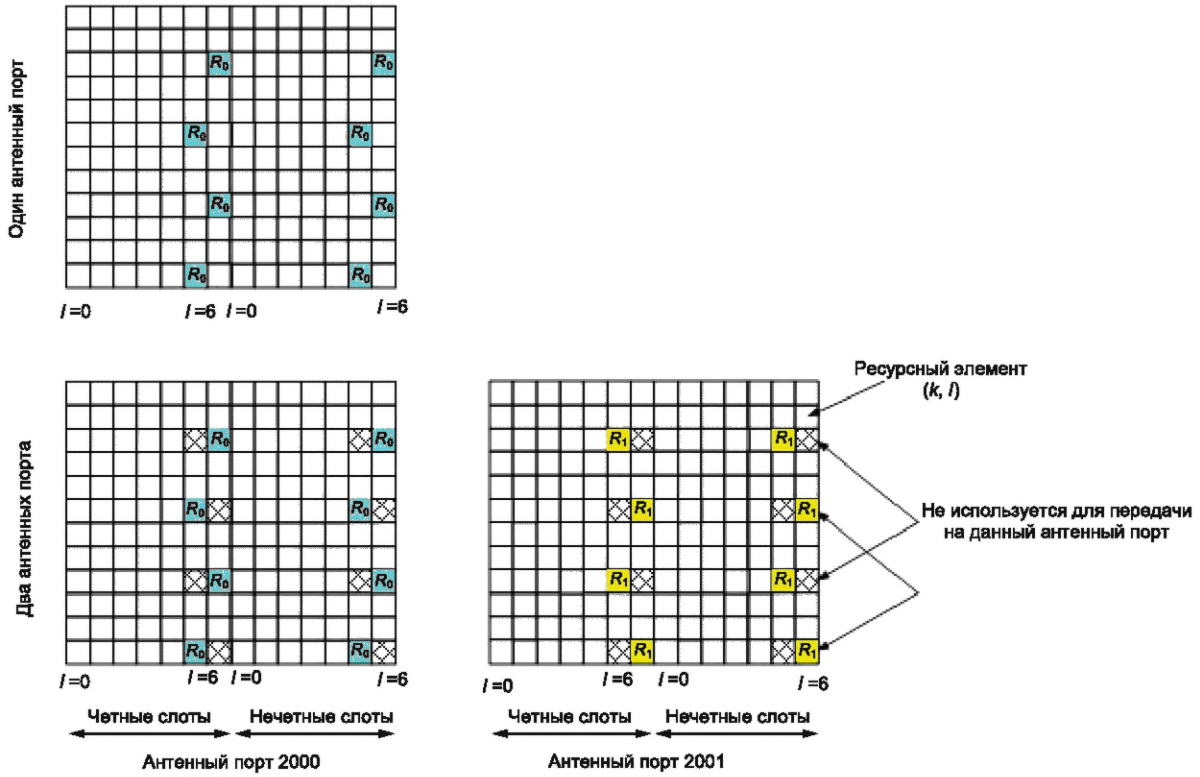


Рисунок 14 — Распределение узкополосных референсных сигналов downlink-канала (нормальный циклический префикс)

На рисунках 15 и 16 показаны распределения при передаче сигнала NPRS для различных режимов работы NB-IoT.

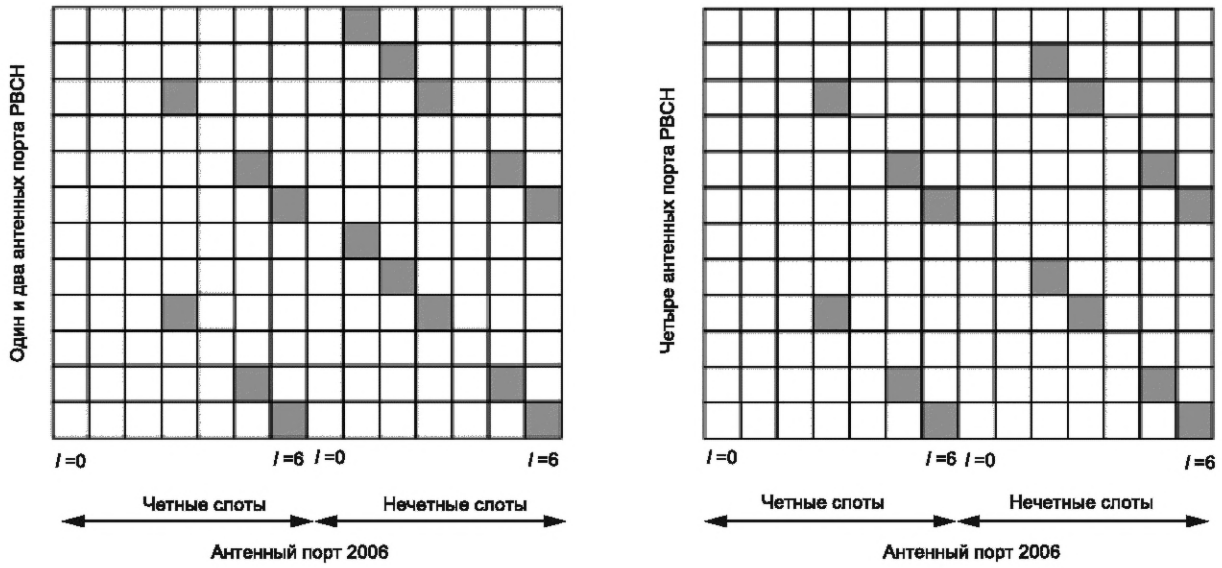


Рисунок 15 — Распределение NPRS (*operationModeInfoNPRS* установлен на режим In-band, nprsBitmap сконфигурирован)

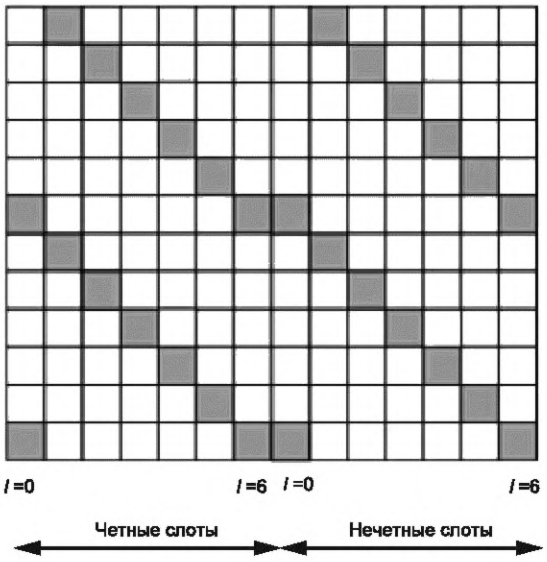


Рисунок 16 — Распределение NPRS (*operationModeInfoNPRS* установлен на режим работы Standalone или Guard-band, nprsBitmap сконфигурирован)

7.3.2.7 Узкополосный сигнал пробуждения NWUS

Для всех символов NWUS в подкадре должен быть использован один и тот же антенный порт. Абонентское устройство не должно предполагать, что NWUS передается через тот же антенный порт, что и любой из референсных сигналов downlink-канала или сигналов синхронизации. Если сконфигурирован только один порт NRS, абонентское устройство может предположить, что для передачи всех подкадров NWUS используется один и тот же антенный порт; в противном случае — что один и тот же антенный порт используется для передачи NWUS в подкадрах $w0 + 2n$ и $w0 + 2n + 1$, где $w0$ — первый подкадр передачи NWUS, $n = 0, 1, \ldots$.

Для несущей NB-IoT, для которой абонентское устройство получает параметр более высокого уровня *OperationModeInfo*, указывающий режим работы Standalone или Guard-band, а также для несущей NB-IoT, для которой присутствует *DL-CarrierConfigCommon-NB* и отсутствует *inbandCarrierInfo*, распределение ресурсов для трех первых символов OFDM в подкадре выполняют следующим образом:

- ресурсный элемент (k,7) распределяется в ресурсный элемент (k,0) каждого индекса k по 12 назначенным поднесущим;
- ресурсный элемент (k,8) распределяется в ресурсный элемент (k,1) каждого индекса k по 12 назначенным поднесущим;
- ресурсный элемент (k,9) распределяется в ресурсный элемент (k,2) каждого индекса k по 12 назначенным поднесущим.

Ресурсный элемент (k, l), перекрывающийся с ресурсными элементами, в которых передаются специфичные для соты референсные сигналы или передаются NRS, не должен использоваться для передачи NWUS, но учитывается в процессе распределения.

7.3.2.8 Узкополосный первичный сигнал синхронизации NPSS

Для всех символов узкополосного первичного сигнала синхронизации в подкадре необходимо использовать один и тот же антенный порт.

Абонентское устройство не должно предполагать, что узкополосный первичный сигнал синхронизации передается через тот же антенный порт, что любой из референсных сигналов downlink-канала. Абонентское устройство не должно предполагать, что узкополосный первичный сигнал синхронизации в данном подкадре использует тот же антенный порт или порты, что и узкополосный первичный сигнал синхронизации в любом другом подкадре.

7.3.2.9 Узкополосный вторичный сигнал синхронизации NSSS

Существует 504 уникальных идентификатора ячеек на физическом уровне, указываемые узкополосным вторичным сигналом синхронизации.

Для всех символов узкополосного вторичного сигнала синхронизации в подкадре необходимо использовать один и тот же антенный порт.

Абонентское устройство не должно предполагать, что узкополосный вторичный сигнал синхронизации передается через тот же антенный порт, что любой из референсных сигналов downlink-канала. Абонентское устройство не должно предполагать, что узкополосный вторичный сигнал синхронизации в данном подкадре использует тот же антенный порт или порты, что и узкополосный вторичный сигнал синхронизации в любом другом подкадре.

Если это указано на более высоком уровне, абонентское устройство может предположить, что для передачи NSSS в ряде последовательных событий NSSS, на которые указывает более высокий уровень, применяются разные прекодеры.

Для ресурсных элементов, перекрывающихся с ресурсными элементами, где передаются специфичные для соты референсные сигналы, соответствующий элемент последовательности не используется для NPSS, но учитывается в процессе распределения.

7.3.2.10 Управляющая информация downlink-канала (DCI)

Таблица 11 определяет сопоставление DCI физическому каналу [7].

Таблица 11 — Сопоставление DCI физическому каналу

Управляющая информация	Физический канал
DCI	NPDCCH

Для DCI применяются схема и скорость кодирования, указанные в таблице 12.

Таблица 12 — Схема и скорость кодирования DCI

Управляющая информация	Схема кодирования	Скорость кодирования
DCI	Циклически усеченное сверточное кодирование (tail biting convolutional coding)	1/3

7.3.3 Uplink-канал

7.3.3.1 Физические каналы и сигналы

Для NB-IoT определены следующие физические каналы:

- NPUSCH (Narrowband Physical Uplink Shared Channel) — узкополосный физический общий канал;
- NPRACH (Narrowband Physical Random Access Channel) — узкополосный физический канал случайного доступа.

Для NB-IoT определен один физический сигнал uplink-канала:

- DMRS (Demodulation Reference Signal) — референсный сигнал демодуляции.

Формирование сигнала физического uplink-канала включает следующие этапы (см. рисунок 17):

- вставка CRC;
- кодирование канала;
- согласование скоростей;

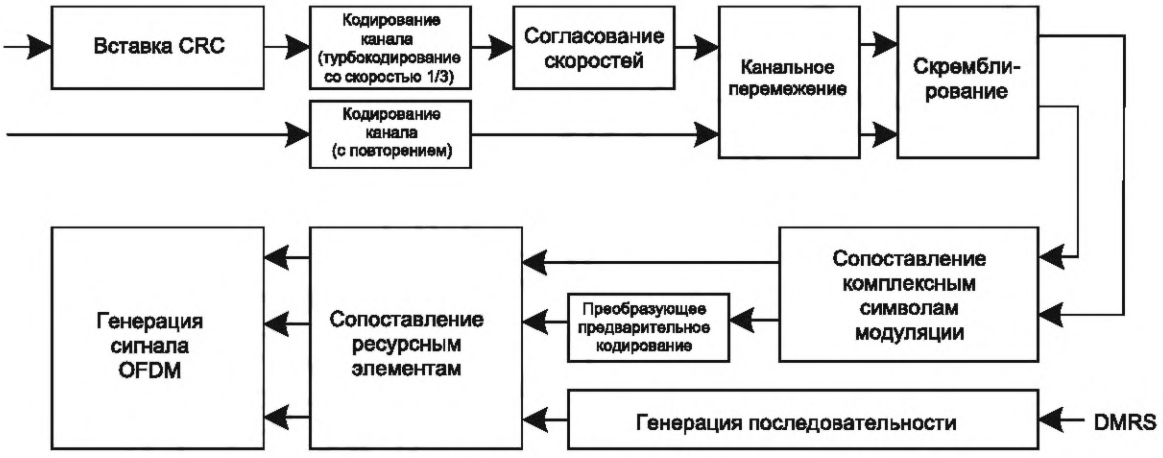


Рисунок 17 — Обработка физического uplink-канала

- канальное перемежение (channel interleaving);
- скремблирование кодированных битов в каждом из кодовых слов, передаваемых по физическому каналу;
- сопоставление скремблированных битов комплексным символам модуляции;
- преобразующее предварительное кодирование;
- сопоставление комплексных символов модуляции ресурсным элементам;
- генерация комплексного сигнала OFDM для каждого антенного порта.

7.3.3.2 Узкополосный физический общий канал NPUSCH

NPUSCH поддерживает два формата:

- формат NPUSCH 1, используемый для передачи UL-SCH;
- формат NPUSCH 2, используемый для передачи управляющей информации по uplink-каналу (UCI).

В случае повторений NPUSCH последовательность скремблирующего кода должна быть повторно инициализирована после каждой $M_{\text{identical}}^{\text{NPUSCH}}$ передачи кодового слова, и для первого слота и кадра, используемых для передачи повтора, должны быть установлены n_s и n_f соответственно.

Модуляцию NPUSCH проводят с использованием схем модуляции, указанных в таблице 13.

Таблица 13 — Схемы модуляции

Формат NPUSCH	N_{sc}^{RU}	Схема модуляции
1	1	BPSK, QPSK
	>1	QPSK, 16QAM
2	1	BPSK

Каждое кодовое слово NPUSCH может быть распределено на одну или более ресурсную единицу, каждая из которых должна быть передана $M_{\text{rep}}^{\text{NPUSCH}}$ раз.

Для формата NPUSCH 1 и 2 в структуре кадра типа 2 при Δf = 3,75 kHz:

- передача NPUSCH выполняется в первом наборе слотов, охватывающем два последовательных подкадра uplink-канала, не перекрывающихся ни с одним подкадром uplink-канала, сконфигурированным как недействительный;
- для конфигурации TDD 1 и 4, если начальная позиция для NPUSCH указана как второй из двух последовательных подкадров uplink-канала, передача NPUSCH откладывается до начала двух последовательных подкадров uplink-канала.

7.3.3.3 Узкополосный физический канал случайного доступа NPRACH

Конфигурация NPRACH, предоставляемая более высокими уровнями, включает:

- периодичность ресурса NPRACH (*nprach-Periodicity*);
- положение частоты первой поднесущей, выделенной для NPRACH (*nprach-SubcarrierOffset*);
- количество поднесущих, выделенных для NPRACH (*nprach-NumSubcarriers*);
- количество начальных поднесущих, выделенных для случайного доступа, инициированного абонентским устройством (*nprach-NumCBRA-StartSubcarriers*);
- количество повторений NPRACH за одну попытку (*numRepetitionsPerPreambleAttempt*);
- время начала NPRACH (*nprach-StartTime*),
- доля для расчета начального индекса поднесущей для диапазона поднесущих NPRACH, зарезервированных для индикации поддержки абонентского устройства многотональной передачи (*nprach-SubcarrierMSG3-RangeStart*).

7.3.3.4 Референсный сигнал демодуляции DMRS

Набор поднесущих, используемых в процессе распределения, должен быть идентичен соответствующей передаче NPUSCH.

7.3.3.5 Управляющая информация uplink-канала (UCI)

Таблица 14 определяет сопоставление UCI физическому каналу [7].

Таблица 14 — Сопоставление UCI физическому каналу

Управляющая информация	Физический канал
UCI	NPUSCH (формат 2)

Для UCI применяются схема и скорость кодирования, указанные в таблице 15.

Таблица 15 — Схема и скорость кодирования UCI

Управляющая информация	Схема кодирования	Скорость кодирования
UCI	Блочный код	1/16

7.4 Уровень MAC

7.4.1 Функции и структура

Уровень MAC обеспечивает:
- выполнение HARQ-операций;
- сопоставление (mapping) логических каналов транспортным каналам;
- мультиплексирование/демультиплексирование логических каналов в транспортные блоки;
- приоритизацию логических каналов;
- работу планировщика ресурсов;
- исполнение процедур случайного доступа и прерывистого приема (DRX);
- взаимодействие (сервисы) с верхними уровнями (передача данных, выделение радиоресурсов);
- взаимодействие (сервисы) с нижними уровнями (передача данных, сигнализация, измерения).

Возможная структура уровня MAC представлена на рисунке 18 [8].

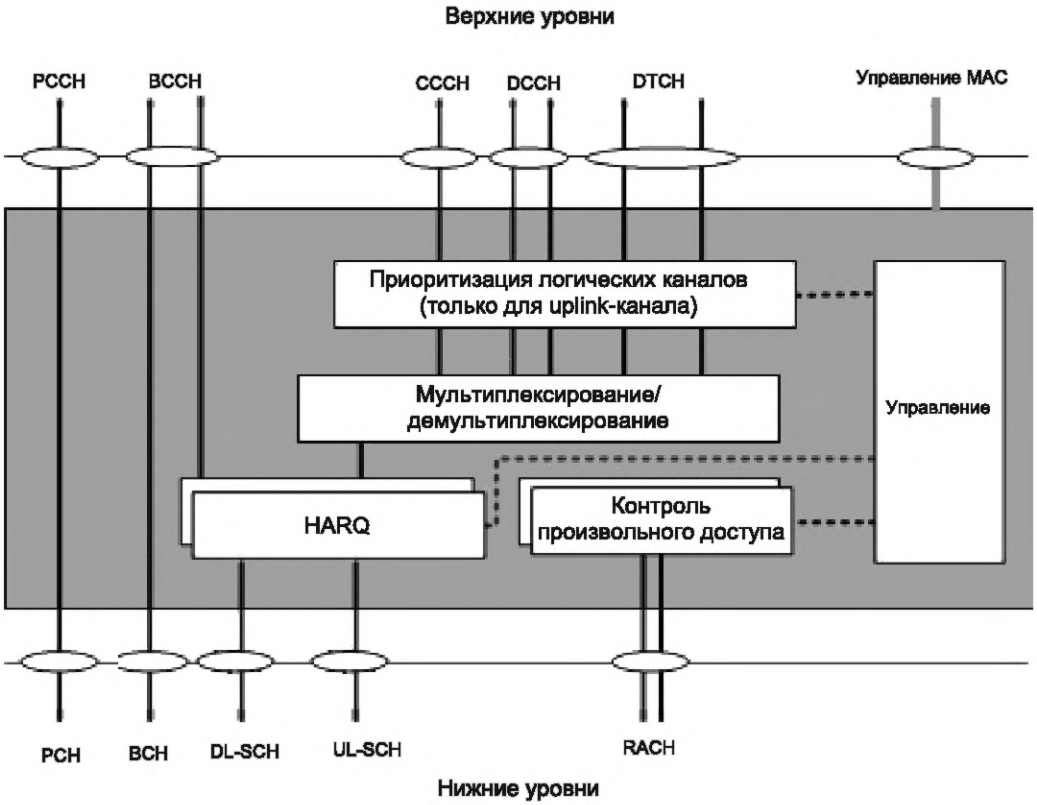


Рисунок 18 — Структура уровня MAC

MAC PDU — это битовая строка, выравненная по байтам, т. е. количество разрядов которой кратно 8. MAC PDU состоит из заголовка MAC, нуля или более блоков служебных данных MAC (MAC SDU), нуля или нескольких элементов управления MAC и, опционально, дополнения, согласно рисунку 19. Порядок следования байтов каждого поля параметра в MAC PDU является прямым, т. е. от старшего разряда к младшему.

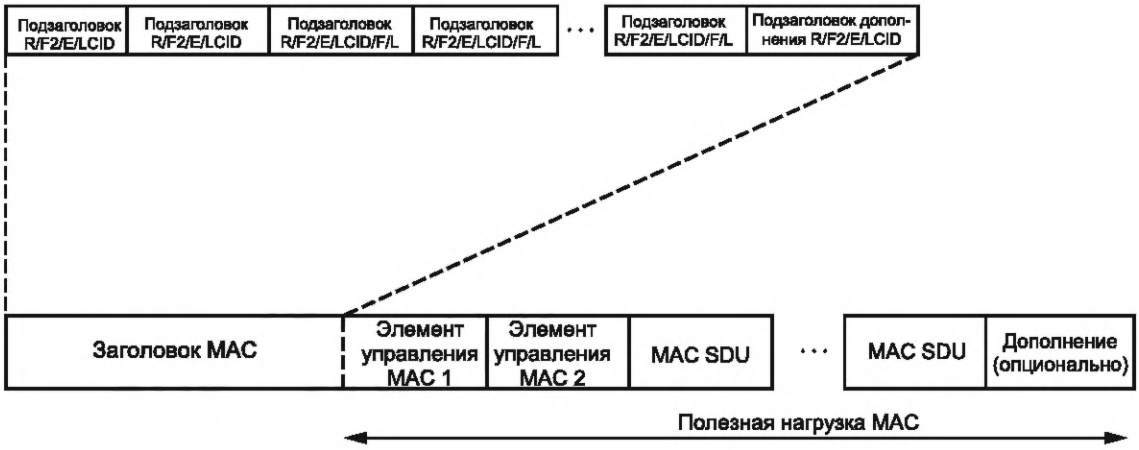


Рисунок 19 — Структура MAC PDU [8]

Заголовок MAC и MAC SDU имеют переменные размеры.

Заголовок MAC состоит из одного или нескольких подзаголовков MAC. Подзаголовки MAC соответствуют MAC SDU, элементам управления MAC или дополнению и имеют тот же порядок, что и соответствующие MAC SDU, элементы управления MAC и дополнение.

На каждый транспортный блок объекта MAC может быть передан максимум один MAC PDU.

7.4.2 Downlink-канал

Для downlink-канала определены три транспортных канала:

- BCH (Broadcast Channel) — вещательный канал;
- PCH (Paging Channel) — пейджинговый канал;
- DL-SCH (Downlink Shared Channel) — общий downlink-канал.

Для downlink-канала определены пять логических каналов:

- BCCH (Broadcast Control Channel) — широковещательный канал управления, переносящий системную информацию (MIB) всем абонентским устройствам в соте;
- PCCH (Paging Control Channel) — канал посылки пейджинговых сообщений для абонентских устройств, местонахождение которых не определено с точностью до соты;
- CCCH (Common Control Channel) — общий канал управления для передачи управляющей информации абонентскому устройству до назначения ему выделенного канала управления (DCCH);
- DTCH (Dedicated Traffic Channel) — выделенный канал трафика абонентского устройства;
- DCCH (Dedicated Control Channel) — выделенный канал управления для передачи управляющей информации абонентскому устройству.

7.4.3 Uplink-канал

Для uplink-канала определены два транспортных канала:

- RACH (Random Access Channel) — транспортный канал случайного доступа;
- UL-SCH (Uplink Shared Channel) — транспортный общий uplink-канал.

Для uplink-канала определены три логических канала:

- CCCH (Common Control Channel) — общий канал для передачи управляющей информации от абонентского устройства до назначения ему выделенного канала управления (DCCH);
- DTCH (Dedicated Traffic Channel) — выделенный канал трафика абонентского устройства;
- DCCH (Dedicated Control Channel) — выделенный канал для передачи управляющей информации от абонентского устройства.

7.5 Уровень RLC

7.5.1 Функции и структура

Функции RLC уровня выполняются RLC-объектами. RLC-объект функционирует в одном из трех режимов передачи: TM (прозрачный режим), UM (режим передачи без подтверждения) и AM (режим передачи с подтверждением). Таким образом, в зависимости от режима передачи данных объект RLC классифицируется как объект TM RLC, объект UM RLC или объект AM RLC.

Уровень RLC обеспечивает [9]:

- передачу PDU на верхние уровни;

- исправление ошибок через ARQ (для передачи данных в режиме AM);
- конкатенацию, сегментацию и повторную сборку RLC SDU (для передачи данных в режимах UM и AM);
- повторную сегментацию PDU данных RLC (для передачи данных в режиме AM);
- изменение порядка PDU данных RLC (для передачи данных в режимах UM и AM);
- обнаружение повторных пакетов (для передачи данных в режимах UM и AM);
- сброс RLC SDU (для передачи данных в режимах UM и AM);
- восстановление RLC;
- обнаружение ошибок протокола (для передачи данных в режиме AM);
- взаимодействие (сервисы) с верхними уровнями (передача данных TM, UM и AM);
- взаимодействие (сервисы) с нижними уровнями (обмен данными, получение уведомлений о возможности передачи данных).

Для объекта RLC, сконфигурированного в eNB, существует равноправный объект RLC, сконфигурированный в UE, и наоборот. Модель уровня RLC представлена на рисунке 20.

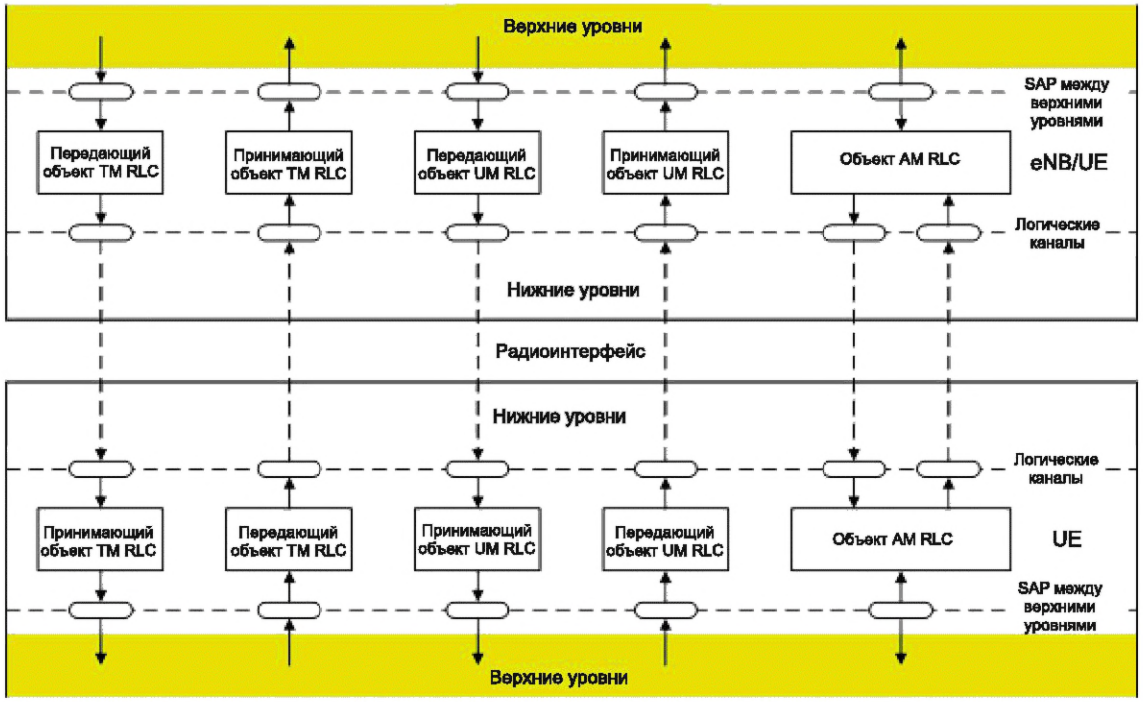


Рисунок 20 — Модель уровня RLC [9]

По отношению ко всем типам объектов RLC применяются следующие положения:

- поддерживаются RLC SDU переменных размеров, выравненные по байтам, т. е. количество разрядов которых кратно 8;
- RLC PDU формируются только тогда, когда возможность передачи подтверждена нижним уровнем (т. е. MAC), после этого происходит доставка на нижний уровень.

RLC PDU может быть RLC PDU данных или RLC PDU управления. RLC PDU данных используются объектами TM RLC, UM RLC и AM RLC для передачи PDU на верхние уровни. RLC PDU управления используются объектами AM RLC для выполнения процедур ARQ.

RLC PDU — это битовая строка, выравненная по байтам, т. е. количество разрядов которой кратно 8. Порядок следования байтов каждого поля параметра в PDU MAC является прямым, т. е. от старшего разряда к младшему.

RLC PDU для объекта TM RLC состоит только из поля данных и не включает заголовков RLC (см. рисунок 21).



Рисунок 21 — RLC PDU для объекта TM RLC

RLC PDU для объекта UM RLC состоит из поля данных и заголовка UMD PDU. Заголовок UMD PDU включает фиксированную и расширенную части. Длина фиксированной части равна одному байту. Пример UMD PDU с фиксированной частью заголовка представлен на рисунке 22.



Рисунок 22 — RLC PDU для объекта UM RLC с фиксированной частью заголовка UMD PDU

RLC PDU для объекта AM RLC состоит из поля данных и заголовка AMD PDU. Заголовок AMD PDU включает фиксированную и расширенную части. Пример AMD PDU с фиксированной частью заголовка представлен на рисунке 23.



Рисунок 23 — RLC PDU для объекта AM RLC с фиксированной частью заголовка AMD PDU

7.6 Уровень PDCP

PDCP уровень обеспечивает [10]:

- передачу данных UP;
- передачу данных CP;
- сжатие заголовка;
- сжатие данных uplink-канала;
- контроль целостности;
- взаимодействие (сервисы) с верхними уровнями (передача данных UP, CP, сжатие заголовка и данных, контроль целостности);
- взаимодействие (сервисы) с нижними уровнями (сервисы успешной/неподтвержденной передачи данных, последовательная доставка, отбрасывание дубликатов).

При использовании CP CIoT EPS оптимизации до момента активации механизмов безопасности уровень PDCP исключается из стека протоколов.

Возможная структура уровня PDCP представлена на рисунке 24.

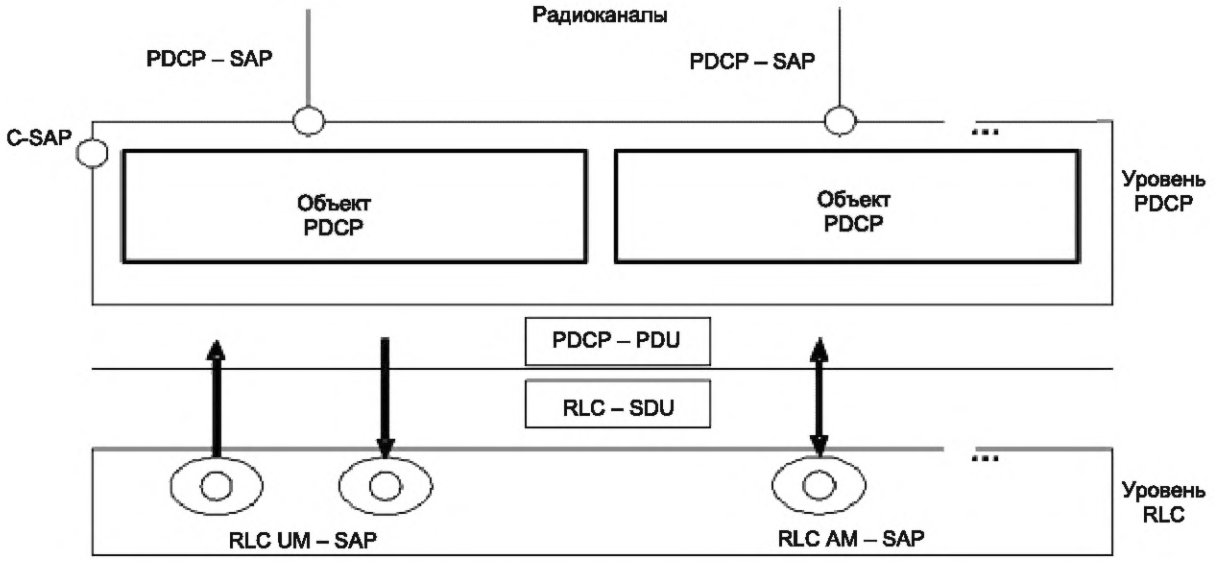


Рисунок 24 — Структура уровня PDCP

PDCP PDU и PDCP SDU — это битовые строки, выравненные по байтам, т. е. количество разрядов которых кратно 8. Порядок следования байтов каждого поля параметра является прямым, т. е. от старшего разряда к младшему. Максимальный поддерживаемый размер PDCP PDU и PDCP SDU составляет 1600 октетов.

На рисунке 25 представлен формат PDCP PDU данных.

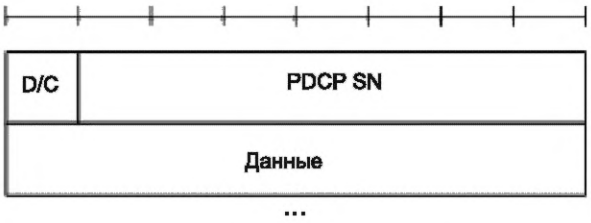


Рисунок 25 — PDCP PDU

Описание объекта PDCP представлено на рисунке 26.

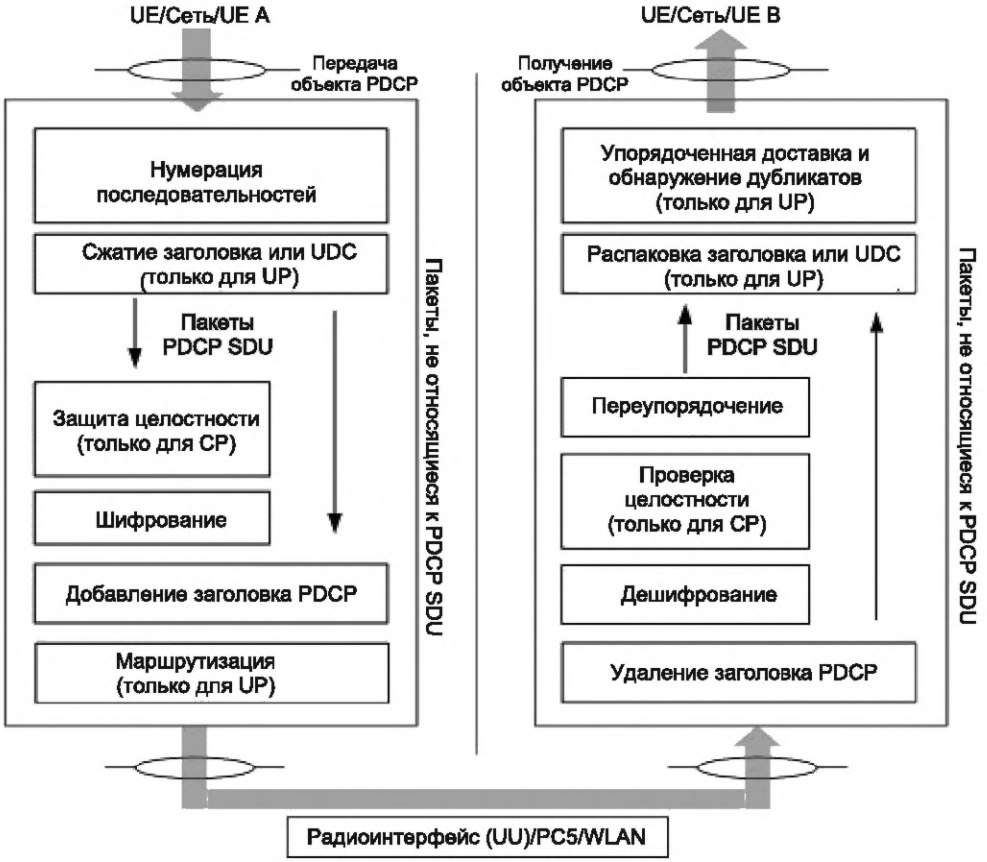


Рисунок 26 — Объект PDCP

7.7 Уровень RRC

RRC-уровень обеспечивает [11]:

- трансляцию системной информации, относящейся к уровню NAS;
- трансляцию системной информации, относящейся к уровню AS;
- пейджинг;
- установление, поддержание и освобождение RRC-соединения;
- функции безопасности, включая управление ключами;
- функции управления QoS;
- прямую передачу сообщений NAS в/из NAS из/в UE;
- взаимодействие (сервисы) с верхними уровнями (трансляция управляющей информации и данных позиционирования, получение уведомлений, передача выделенной управляющей информации);
- взаимодействие (сервисы) с нижними уровнями (проверка целостности, передача данных с поддержкой сегментации и конкатенации).

Модель состояний уровня RRC приведена на рисунке 27 [11].

Состояния RRC включают в себя следующие состояния:

- RRC_IDLE (ожидание);
- RRC_CONNECTED (соединение).

В состоянии RRC-IDLE абонентское устройство:

- мониторит пейджинговый канал;
- считывает системную информацию;
- выполняет измерения на соседних сотах и (при необходимости) осуществляет перевыбор соты.

В состоянии RRC-CONNECTED абонентское устройство:

- мониторит пейджинговый канал для получения уведомления об изменении системной информации;

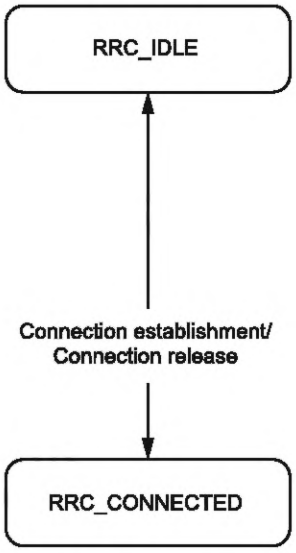


Рисунок 27 — Модель состояний уровня RRC

- мониторит канал управления NPDCCH;
- выполняет прием/передачу данных.

На уровне RRC применяются процедуры, относящиеся к системной информации, управлению соединением, измерениям, общей обработке ошибок и SC-PTM. Помимо указанных, применяются также следующие процедуры:

а) *DL information transfer*;
б) *UL information transfer*;
в) *UE Capability transfer*;
г) *UE information* (не применимо для UE, поддерживающих только CP CIoT EPS optimization);
д) *PUR Configuration Request*;
е) *Neighbour Relation Reporting for SON ANR in NB-IoT.*

Системная информация разделена на блоки MIB и SIB, включая *MasterInformationBlock-NB*, *MasterInformationBlock-TDD-NB* и *SystemInformationBlockTypeX-NB*.

MasterInformationBlock-NB (MIB-NB) и *MasterInformationBlock-TDD-NB* (MIB-TDD-NB) используют фиксированное расписание с периодичностью 640 мс и повторениями в пределах 640 мс. Передача данных организуется в восьми независимо декодируемых блоках длительностью 80 мс. *SystemInformationBlockType1-NB* (SIB1-NB) использует фиксированное расписание с периодичностью 2560 мс.

Процедуры управления RRC соединением включают:

а) *paging;*
б) *RRC connection establishment*;
в) *RRC connection resume* (не применимо для UE, поддерживающих только CP CIoT EPS optimisation);
г) *Initial security activation* (не применимо для UE, поддерживающих только CP CIoT EPS optimisation);
д) *RRC connection reconfiguration* (не применимо для UE, поддерживающих только CP CIoT EPS optimisation);
е) *RRC connection re-establishment*;
ж) *RRC connection release*;
и) *RRC connection release requested by upper layers*;
к) *Radio resource configuration*;
л) *Radio link failure related actions*;
м) *UE actions upon leaving RRC_CONNECTED*;
н) *Action upon receiving PUR release request*;
п) *Unified Access Control.*

8 Режимы энергосбережения NB-IoT

8.1 Режим энергосбережения PSM

Режим энергосбережения PSM позволяет абонентскому устройству переходить в режим сна с минимальным энергопотреблением, при этом устройство остается зарегистрированным в сети, и в моменты пробуждения нет необходимости заново проходить процедуру регистрации Attach.

Абонентское устройство активирует режим PSM путем запроса значения времени активности во время процедуры регистрации Attach и TAU/RAU с передачей значений двух таймеров T3412-Extended и T3324. Если сеть поддерживает режим PSM и принимает, что абонентское устройство использует режим PSM, то сеть подтверждает использование режима PSM путем назначения значения времени активности. При определении значения времени активности сеть учитывает значение, запрашиваемое абонентским устройством, максимальное время ответа, а также локальную конфигурацию MME/SGSN. При необходимости изменить значение времени активности, например при изменении условий, абонентское устройство делает запрос желаемого значения в процедуре TAU/RAU.

Находясь в режиме PSM, устройство периодически инициирует процедуру актуализации TAU (Tracking Area Update) для того, чтобы сообщить сети о своей доступности и обновить местоположение. Обновление местоположения может быть важно для подвижных устройств. Частота процедуры TAU задается таймером T3412-Extended, максимальное значение которого составляет 35 712 000 с (приблизительно 413 дней).

Второй таймер T3324 определяет период времени, в течение которого абонентское устройство находится в состоянии idle после пробуждения. В это время устройство может принимать данные. Максимальное значение таймера T3324 составляет 186 минут.

В случае, когда абонентское устройство может принимать данные и при этом располагается в условиях низкого уровня сигнала (например, в подвале или колодце), рекомендуется устанавливать длительность таймера T3324 не менее 10 секунд.

Временная диаграмма режима энергосбережения PSM представлена на рисунке 28.

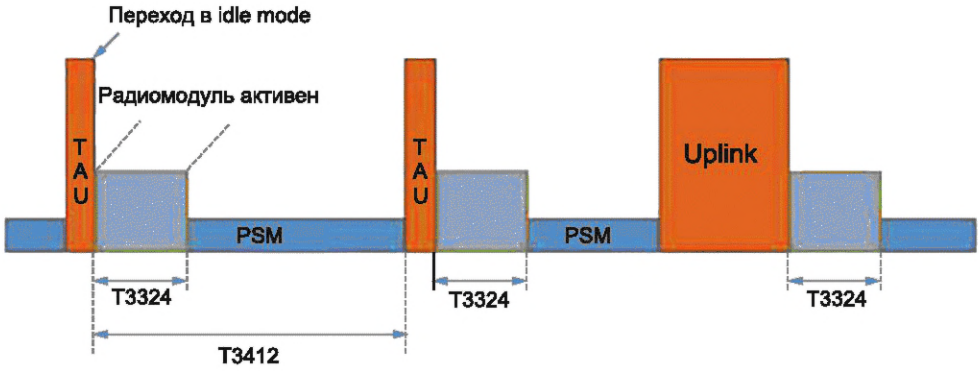


Рисунок 28 — Временная диаграмма режима энергосбережения PSM

В режиме PSM абонентское устройство недоступно только для входящих сообщений. При необходимости передать информацию абонентское устройство может в любой момент выйти из режима PSM и отправить данные, оставшись после этого активным в течение времени T3324 для приема информационных сообщений.

Абонентское устройство находится в режиме PSM до события, инициируемого абонентским устройством (например, RAU/TAU, исходящие данные мобильной станции или отключение).

Если абонентское устройство выполняет какую-либо периодическую передачу данных по uplink-каналу с периодичностью, аналогичной значению таймера TAU/RAU, рекомендуется увеличить значение таймера TAU/RAU, чтобы избежать увеличение энергопотребления.

8.2 Расширенный режим прерывистого приема eDRX

В расширенном режиме прерывистого приема DRX абонентское устройство принимает сообщения не постоянно, а периодически — в пределах определенного времени. В приложениях с использованием режима eDRX необходимо учитывать допуск на задержку данных.

Для согласования использования режима eDRX абонентское устройство запрашивает параметры eDRX во время процедуры регистрации и процедуры RAU/TAU. SGSN/MME может отклонить или принять запрос абонентского устройства на включение eDRX. При принятии eDRX, SGSN/MME на основе политики оператора и значений длины цикла eDRX в данных HSS (при наличии) может предоставить значения параметров eDRX, отличные от запрашиваемых абонентским устройством. В этом случае абонентское устройство должно использовать eDRX с принятыми параметрами eDRX. Если абонентское устройство не получило параметры eDRX в принятом сообщении в результате того, что SGSN/MME отклонил запрос или SGSN/MME не поддерживает eDRX, то абонентское устройство должно применить обычный режим прерывистого приема DRX.

Если абонентское устройство запрашивает одновременное включение режимов PSM и eDRX, то SGSN/MME может:

а) Включить только режим PSM, т. е. не принимать запрос на eDRX.

б) Включить только режим eDRX, т. е. не принимать запрос на PSM.

в) Включить как режим PSM (т. е. указать время активности), так и режим eDRX (т. е. указать параметры eDRX).

Решение по запросу одновременного включения режимов PSM и eDRX зависит от реализации, локальной конфигурации и другой информации, доступной в SGSN/MME. Для одновременного включения режимов PSM и eDRX время активности режима PSM должно превышать значение цикла eDRX (см. 7.1). Выбранный метод используется до следующей процедуры регистрации или процедуры RAU/TAU, после чего решение может быть обновлено.

Примечание — Для снижения энергопотребления таймер повторения процедуры TAU должен быть дольше, чем цикл eDRX.

Таймер T_{eDRX} запускается в сети и на абонентском устройстве при соответственно передаче и приеме сообщения Attach Accept или RAU Accept, в котором предоставлены параметры eDRX. Таким образом, T_{ref} в сети соответствует моменту, когда отправляется сообщение Accept RAU, а на абонентском устройстве — моменту, когда принимается соответствующее сообщение Accept.

Таймер T_{eDRX} поддерживается и используется только тогда, когда процедура регистрации Attach или RAU успешно выполнена, и не зависит от состояния PMM абонентского устройства, т. е. переходы между состоянием idle и состоянием connected не влияют на таймер T_{eDRX}.

Для повышения надежности пейджинга, например, во избежание пропусков сообщений из-за повторного выбора соты или из-за несовершенной синхронизации параметра T_{ref} между абонентским устройством и SGSN, используется время окна передачи пейджинга T_{PTW}. После окончания цикла eDRX абонентское устройство слушает сеть в течение времени окна передачи пейджинга PTW (см. рисунок 29). Во время PTW абонентское устройство слушает сеть с использованием параметров обычного режима DRX (T_{DTX}), таким образом за указанное время предоставляется несколько возможностей для пейджинга. Информация для применения PTW предоставляется абонентскому устройству при согласовании eDRX.

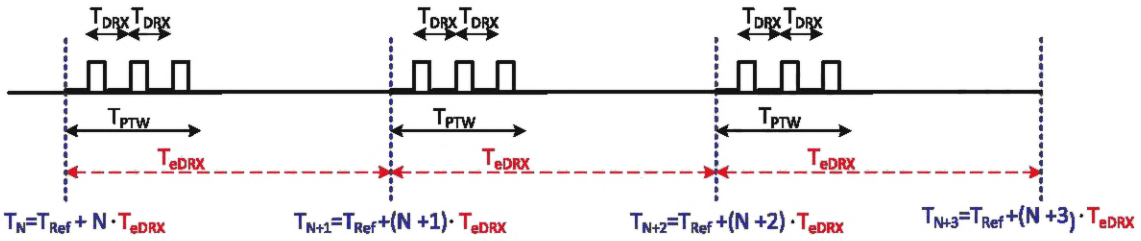


Рисунок 29 — Циклы расширенного режима прерывистого приема eDRX

Допустимые значения длительности цикла eDRX представлены в таблице 16 [12].

Таблица 16 — Значения длительности цикла eDRX

Длительность, с
20,48
40,96

Окончание таблицы 16

Длительность, с
81,92
163,84
327,68
655,36
1 310,72
2 621,44
5 242,88
10 485,76

Допустимые значения длительности окна передачи пейджинга PTW представлены в таблице 17 [12].

Таблица 17 — Значения длительности окна передачи пейджинга PTW

Длительность, с
2,56
5,12
7,68
10,24
12,8
15,36
17,92
20,48
23,04
25,6
28,16
30,72
33,28
35,84
38,4
40,96

9 Расширение возможностей NB-IoT

9.1 Интеграция в 5G

Общие требования к технологии 5G затрагивают три основных варианта использования [13]—[15] и 3GPP [16]:

- мобильный IoT/массовый IoT/LPWA: улучшенное покрытие сети, длительный срок службы устройств и высокая плотность соединений;
- критически важные коммуникации: высокопроизводительный, сверхнадежный IIoT с низкой задержкой и критически важные приложения (критический IoT, URLLC);

- улучшенная мобильная широкополосная связь: повышенная производительность и более удобный доступ пользователей к мультимедийному контенту для коммуникации, ориентированной на человека.

3GPP включил технологию NB-IoT в часть семейства стандартов 5G, т. е. развитие 5G проводится в том числе путем использования NB-IoT как части спецификаций 5G. Размещение канала NB-IoT предусмотрено непосредственно в полосе частот 5G аналогично технологии LTE (см. рисунок 30) [17].

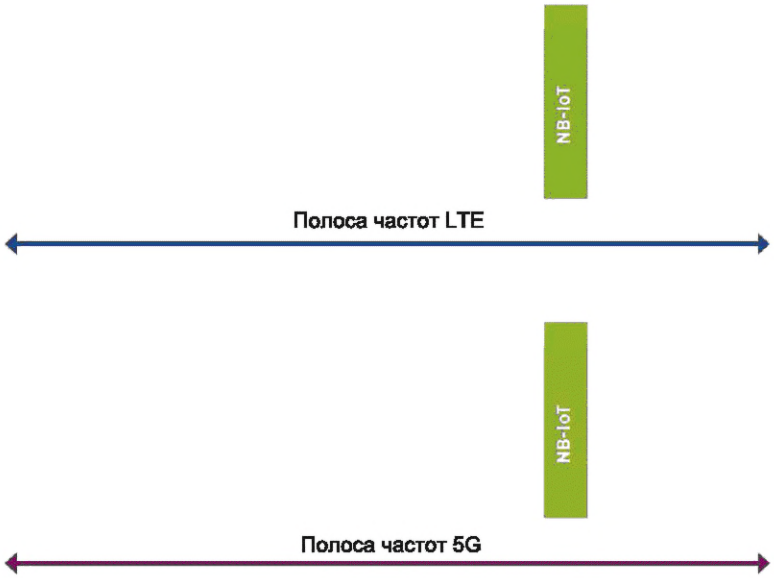


Рисунок 30 — Размещение канала NB-IoT в полосе частот LTE и 5G

Внутриполосная работа NB-IoT в пределах полосы пропускания несущей 5G NR достигается путем применения:

- модуляции и структуры кадра технологии 5G, совместимой с NB-IoT [17];
- дуплексной частотной конфигурации 5G, позволяющей выравнивать сетки поднесущих 5G и NB-IoT [18];
- поддержки конфигурации «прямой совместимости» [19].

Архитектура NB-IoT в сети 5G представлена на рисунке 31 [20].

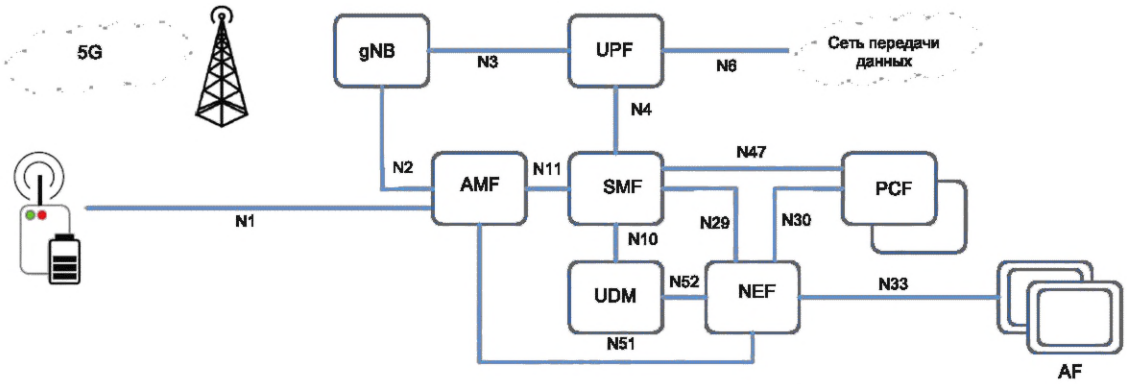


Рисунок 31 — Архитектура NB-IoT в сети 5G

На рисунке 31 указаны следующие основные программные модули и сетевые функции:

- базовая станция gNB;
- функция управления доступом и мобильностью AMF (Access and Mobility Management Function);
- функция управления сессиями SMF (Session Management Function);
- функция передачи данных пользователей UPF (User Plane Function);

- модуль управления данными пользователей UDM (Unified Data Management);
- функция управления политиками PCF (Policy Control Function);
- функция обеспечения взаимодействия с внешними приложениями NEF (Network Exposure Function);
- прикладная функция AF (Application Function).

9.2 Интеграция в NTN

Интеграция NB-IoT в NTN позволяет обеспечить большее покрытие по сравнению с наземными сетями, включая изолированные регионы (Арктика, пустыни, океаны, джунгли, леса, горы или отдаленные и малонаселенные районы) и пространства с недостаточно развитой наземной инфраструктурой (воздушная и морская логистика).

Интеграция NB-IoT в NTN позволяет реализовать бесшовный переход связи между NTN-сетью и наземной сетью.

Схема NTN-связи представлена на рисунке 32 [21].

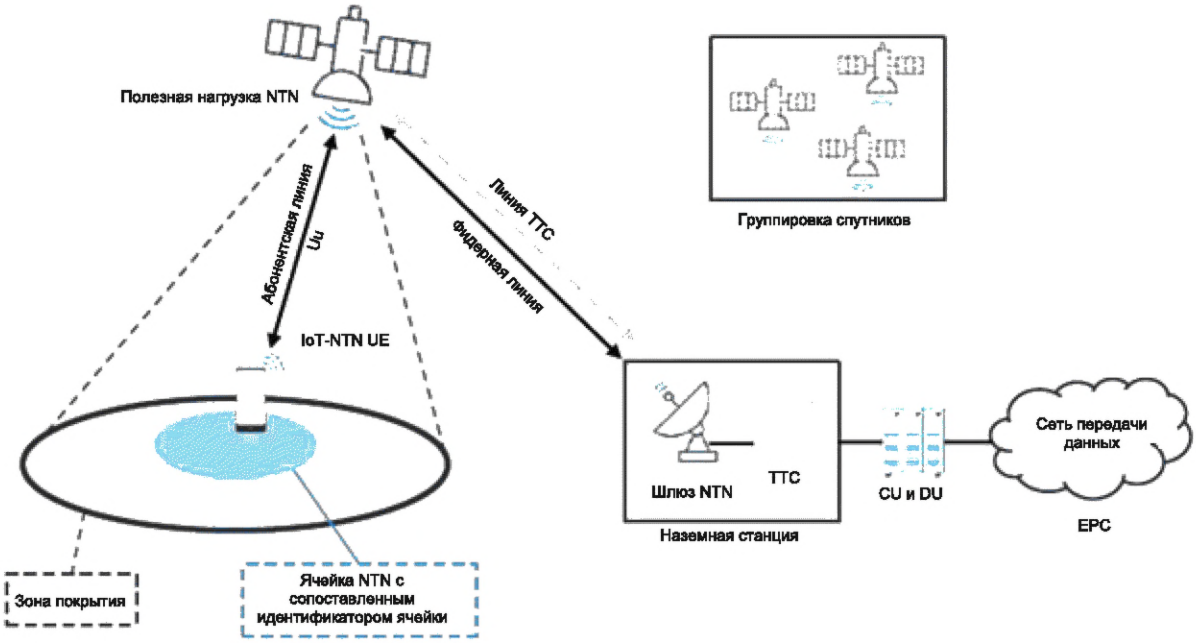


Рисунок 32 — Схема NTN-связи

Диапазоны рабочих частот NTN downlink- и uplink-каналов для функционирования NB-IoT приведены в таблице 18 [21].

Таблица 18 — Диапазоны рабочих частот NTN downlink- и uplink-каналов для NB-IoT

Номер диапазона рабочих частот	Диапазон рабочих частот uplink-канала, МГц	Диапазон рабочих частот downlink-канала, МГц	Режим дуплекса
	F_{UL_low}—F_{UL_high}	F_{DL_low}—F_{DL_high}	
256	1980—2010	2170—2200	FDD
255	1626,5—1660,5	1525—1559	FDD
254	1610—1626,5	2483,5—2500	FDD
253	1668—1675	1518—1525	FDD
Примечание — Нумерация спутниковых диапазонов осуществляется с номера 256 в убывающем порядке.			

3GPP разделяет спутники по типу орбит [22]:

- LEO (Low-Earth Orbit) — спутники на низкой орбите с высотой от 300 км до 2000 км;
- MEO (Medium-Earth Orbit) — спутники на средней орбите с высотой от 8000 км до 20 000 км;
- GEO (Geostationary Earth Orbit) — спутники на геостационарной орбите с высотой 35 786 км.

Расстояние от абонентского устройства до спутника является гораздо большим по сравнению со сценарием наземных сетей, что обуславливает задержки распространения сигнала. В таблице 19 приведены максимальные задержки распространения сигнала по радиолинии «телефон—спутник—наземный шлюз» для разных орбит спутника [22].

Таблица 19 — Максимальные задержки распространения сигнала для разных орбит спутника

Тип орбиты	Угол места 90°		Угол места 10°		Максимальная односторонняя задержка от телефона до шлюза, мс
	Расстояние до спутника (высота орбиты), км	Задержка сигнала от телефона/шлюза до спутника, мс	Расстояние до спутника, км	Задержка сигнала от телефона/шлюза до спутника, мс	
LEO	600	2	1932	6	12
MEO	8000	27	11 826	39	79
GEO	35 786	119	40 586	135	271

Для компенсации задержек распространения сигнала предназначен механизм синхронизации Timing Advance (TA).

Полная задержка распространения сигнала от шлюза до телефона TA_{full} равна сумме задержек, вводимых сервисной (TA_{UE}) и фидерной (TA_{common}) линиями (см. рисунок 33):

$$TA_{full} = TA_{UE} + TA_{common}.$$

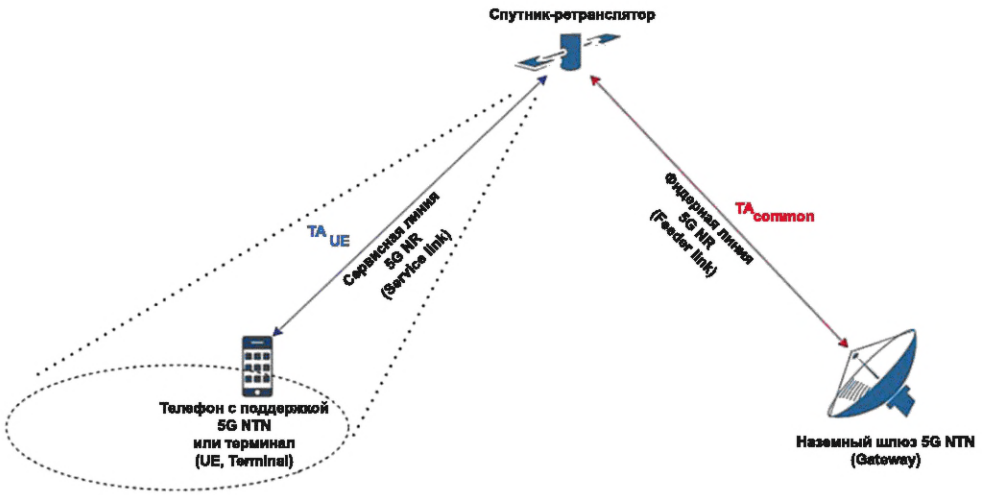


Рисунок 33 — Задержка распространения сигнала в NTN-сети

Для расчета TA_{common} и TA_{UE} наземный шлюз и абонентское устройство, соответственно, должны знать свое местоположение и положение спутника на орбите в конкретный момент времени.

Положение спутника в произвольный момент времени рассчитывается из его эфемерид. Эфемериды — это набор параметров орбиты спутника на строго определенный момент времени. Сеть передает информацию об эфемеридах и общие параметры TA в каждую соту NTN.

Абонентское устройство получает свои координаты из сигналов GNSS, а положение спутника рассчитывает на основании эфемерид, которые периодически получает от наземного шлюза. Указанную информацию абонентское устройство должно получить перед подключением к соте NTN.

Полученные задержки учитываются механизмом компенсации TA. Для синхронизации uplink-канала перед выполнением произвольного доступа абонентское устройство должно автономно предварительно компенсировать временной сдвиг и доплеровский сдвиг частоты, принимая в расчет

общие параметры TA, позицию абонентского устройства и позицию спутника через информацию об эфемеридах. В режиме подключения абонентское устройство должно непрерывно обновлять временной сдвиг и предварительную компенсацию частоты. При этом абонентское устройство не проводит определение GNSS и не выполняет передачи данных из-за устаревшей информации об эфемеридах, общих параметрах TA или GNSS на основе таймеров. В режиме соединения, при наличии устаревшей информации об эфемеридах и общих параметрах TA, абонентское устройство повторно получает передаваемые параметры, при устаревшем положении GNSS абонентское устройство переходит в режим ожидания. Абонентские устройства могут сообщать о временном сдвиге при первоначальном доступе или в режиме соединения. В режиме подключения поддерживается триггерная передача параметров TA.

При интеграции NB-IoT в NTN должна быть проведена оценка энергетического бюджета абонентской радиолинии с учетом мощности передаваемого сигнала, усиления и потерь в антеннах, потери сигнала из-за распространения, а также чувствительности приемника.

Приложение А
(справочное)

Отраслевое применение технологии NB-IoT

А.1 Критерии выбора технологии NB-IoT

Одним из наиболее важных свойств технологии NB-IoT является возможность работы абонентских устройств при более низких уровнях сигнала и при высоком уровне шумов, а также экономия батареи. Сеть NB-IoT предназначена для передачи коротких сообщений. Не рекомендуется передача аудио- и видеоконтента и больших файлов. При разработке абонентских устройств необходимо обращать особое внимание на режимы экономного энергопотребления и оптимизацию информационного потока.

Сеть NB-IoT имеет существенное преимущество по отношению к сетям 2G/3G/4G в части зоны покрытия и проникновения сигнала в труднодоступные места (например, подвалы и помещения с коммуникациями в зданиях). Преимущество обеспечивается более помехоустойчивыми узкополосными сигналами, а также встроенным механизмом переповтора передаваемых пакетов данных.

Основные критерии выбора технологии NB-IoT:

- наличие сети доступа на территории Российской Федерации;
- отсутствие внутрисетевого роуминга;
- энергоэффективность абонентского устройства: работа устройства от одного комплекта батарей — длительный срок (до 10 лет);
- надежность передачи данных;
- подключение большого числа устройств в одной локации;
- низкая стоимость устройства;
- расширенная зона покрытия и глубокое проникновение сигнала в труднодоступные места (например, подвалы, колодцы, технические помещения);
- допустимость низких скоростей и задержек передачи данных.

А.2 Отрасли применения технологии

Примеры использования систем NB-IoT в различных отраслях экономики представлены в таблице А.1.

Таблица А.1 — Отрасли применения технологии NB-IoT

Отрасль	Примеры систем
Сельское хозяйство	Мониторинг агродатчиков. Мониторинг полей. Метеостанции. Трекинг и мониторинг состояния фермерского скота
Здравоохранение	Биометрические и медицинские датчики
Городское хозяйство	Интеллектуальная система учета коммунальных ресурсов. Умное освещение. Умная система управления микроклиматом. Умная система управления и диспетчеризации инженерного оборудования. Трекинг домашних животных. Вендинговые машины. Метеостанции, в том числе работающие в суровых условиях
Энергетическая инфраструктура	Интеллектуальная система учета энергоресурсов. Генераторы электричества
Транспортная инфраструктура	Система контроля транспорта, грузов, мобильных активов. Средства индивидуальной мобильности. Система контроля парковок
Промышленность	Мониторинг состояния промышленного оборудования. Система безопасности персонала на предприятии

Примеры оборудования с реализацией технологии NB-IoT представлены в таблице А.2.

Таблица А.2 — Примеры оборудования с реализацией технологии NB-IoT

Категория	Оборудование
ЖКХ, умный город: приборы учета	Счетчики электричества. Счетчики воды. Счетчики газа. Счетчики тепла. Расходомеры. Узлы учета. Счетчики импульсов. Датчики протечки. Датчики на люк (мусорный бак, канализация). Датчики открытия окон, дверей
Оборудование мониторинга активов	Трекеры. Маяки. Датчики парковки
Оборудование систем безопасности	Датчики вскрытия, открытия, проникновения. Датчики движения, присутствия. NB-IoT кнопки. Датчики концентрации углекислого, угарного газа. Пожарные дымовые извещатели
Оборудование мониторинга окружающей среды	Комплексные измерители-регистраторы. Датчики температуры, влажности, давления. Датчики шума, освещенности. Датчики экомониторинга. Станции экомониторинга. Датчики концентрации частиц. Метеостанции. Газоанализаторы. Пылемеры
Оборудование для СХ и животноводства	Датчики СХ и животноводства
Оборудование систем автоматики (SCADA)	Датчики. Измерители. Преобразователи. Реле. Исполнительные устройства
Оборудование цифровизации зданий	СКУД. Замки и защелки. NB-IoT кнопки
Оборудование систем освещения	УСПД. Контроллеры освещения. Контроллеры света
Оборудование АСУТП	Логгеры для автоматизации управления технологическими процессами (объединяет датчики и счетчики в сеть IIoT)
Оборудование связи для любого отраслевого применения *	NB-IoT модули связи
Сетевое оборудование IoT проектов*	Коммутаторы. Маршрутизаторы. Мультиплексоры. Медиаконверторы. Хабы. Мосты. Усилители и преобразователи сигнала
* В т. ч. с использованием NTN-связи.	

А.3 Характеристики передачи данных в сети NB-IoT

Максимальная скорость передачи данных в сети NB-IoT, достижимая при идеальных условиях радиоприема, при монопольном использовании абонентом всех ресурсов соты, с учетом реализации всех механизмов оптимизации, указана в таблице А.3.

Таблица А.3 — Максимальные скорости передачи данных

Категория абонентского устройства	Максимальная скорость передачи данных, Кбит/с	
	В направлении к абоненту	В направлении от абонента
NB1	26	60
NB2	126	160

Рекомендуемые модели передачи сообщений для абонентского оборудования приведены в таблице А.4 [23].

Таблица А.4 — Рекомендуемые модели передачи сообщений для абонентского оборудования в сети NB-IoT

Назначение устройства	Частота передачи сообщений	Размер сообщения, байт	Дневной трафик, байт	Ежемесячный трафик, байт
Носимые устройства	10 в день	20	200	6000
Трекинг животных	2 в час	50	2400	72 000
Трекинг самокатов, велосипедов	8 в час	50	9600	288 000
Биометрические и медицинские датчики	8 в день	100	800	24 000
Генераторы электричества	2 в день	100	200	6000
Пожарная сигнализация	2 в день	20	40	1200
Трекинг фермерского скота	100 в день	50	5000	150 000
Датчики микроклимата	5 в день	50	250	7500
Трекинг промышленного оборудования	100 в день	50	5000	150 000
Промышленный мониторинг безопасности	2 в день	100	200	6000
Приборы учета электроэнергии	1 раз в час (1 раз в 30 минут)	100	2400 (4800)	72 000 (144 000)
Счетчики воды и газа	8 в день	200	1600	48 000
Датчики парковки	60 в день	50	3000	90 000
Автоматизация зданий	5 в день	50	250	7500
Автоматизация дома	5 в день	50	250	7500
Промышленный контроль производства	100 в день	50	5000	150 000
Умные сети	10 в день	20	200	6000
Мониторинг пропановых цистерн	2 в день	100	200	6000
Мониторинг агродатчиков	4 в день	100	400	12 000
Мониторинг мусора	1 в час	10	240	7200
Мониторинг окружающей среды	1 в час	200	4800	144 000
Городское освещение	5 в день	100	500	15 000
Бытовая техника	3 в день	20	60	1800
Вендинговые машины	1 в день	1024	1024	330 720
	100 в день	100	10 000	

Рекомендации для разработки устройств и реализации приложений представлены в [24].

Приложение Б
(справочное)

Пример знака, подтверждающего корректность использования устройства NB-IoT в выбранном сценарии применения



Рисунок Б.1 — Пример знака, подтверждающего корректность использования устройства NB-IoT в выбранном сценарии применения

Библиография

[1] 3GPP 36.104 V18.4.0 Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception

[2] 3GPP 36.101 V18.1.0 Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception

[3] Лучанский В.Б., Новиков С.А. Интеграция с инфраструктурой NB-IoT. Теория и практика. Методические рекомендации — Москва, 2023

[4] Басараб М.А., Ключарев П.Г., Колесников А.В. Механизмы энергосбережения в NB-IoT сетях и влияние транспортных протоколов передачи данных на энергетический профиль устройств//Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Приборостроение. — Москва : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. — 2024. — № 1

[5] 3GPP 36.201 V17.0.0 Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); LTE physical layer; General description

[6] 3GPP 36.211 V17.3.0 Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation

[7] 3GPP 36.212 V17.1.0 Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and channel coding

[8] 3GPP 36.321 V17.4.0 Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Medium Access Control (MAC) protocol specification

[9] 3GPP 36.322 V17.0.0 Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Link Control (RLC) protocol specification

[10] 3GPP 36.323 V17.2.0 Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Packet Data Convergence Protocol (PDCP) specification

[11] 3GPP 36.331 V17.4.0 Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification

[12] 3GPP TS 24.008 V15.8.0 Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; 5G; Mobile radio interface Layer 3 specification; Core network protocols; Stage 3

[13] ITU-R M.2083, IMT Vision — Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond

[14] ITU-R M.2412-0, Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-2020

[15] ITU-R M.2410-0, Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s)

[16] 3GPP TR 38.913 V17.0.0 Study on scenarios and requirements for next generation access technologies

[17[3GPP TS 38.211 V18.1.0 NR; Physical channels and modulation

[18] 3GPP 38.104 V18.4.0 NR; Base Station (BS) radio transmission and reception

[19] 3GPP 38.214 V18.1.0 NR; Physical layer procedures for data

[20] 3GPP TS 38.300 V17.7.0 Technical Specification Group Radio Access Network; NR; NR and NG-RAN Overall Description; Stage 2

[21] 3GPP 36.102 V18.4.0 Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception for satellite access

[22] МТС, Спутниковая связь от 3GPP: как смартфоны будут звонить через спутник (gost.e-ecolog.ru ru_mts/articles/783288/)

[23] GSMA white paper 3GPP Low Power Wide Area Technologies

[24] Методические рекомендации по разработке устройств NB-IoT v. 1.2/Под редакцией Лучанского В.Б. — Москва, 2022

УДК 004.738:006.354

ОКС 35.020
35.110

Ключевые слова: информационные технологии, протокол передачи данных, NB-IoT, LTE, NTN, 5G, основные параметры

Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 15.10.2024. Подписано в печать 29.10.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 5,58. Уч.-изд. л. 4,64.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru