

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и Информационных технологий

Кафедра Электроники, телекоммуникации и космических технологий

Дмитриенко А.В.

Внедрение технологии узкополосного интернета вещей (NB-IoT) в сети
мобильной связи

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

По образовательной программе 6В06201 – Телекоммуникация

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт Автоматики и Информационных технологий

Кафедра Электроники, телекоммуникации и космических технологий

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой ЭИКТ
Кандидат технических наук
Таштай Е.Т.
22 « 05 » 2025 г.

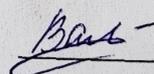


ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Внедрение технологию узкополосного интернета вещей (NB-IoT) в сети мобильной связи»

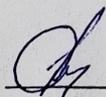
По образовательной программе 6В06201 – Телекоммуникация

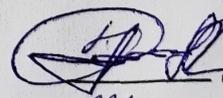
Выполнил

 Дмитриенко А. В.

Рецензент
к.т.н., PhD, доцент
Алматинского университета
энергетики и связи имени Г.Даукеева

Научный руководитель
Старший преподаватель

 Ермекбаев М.М.
22 « 05 » 2025 г.

 Джунусов Н. А.
24 « 05 » 2025 г.

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт автоматики и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

ОП «6В06201 Телекоммуникация»



ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающейся Дмитриенко Алина Владиславовна

Тема: *Внедрение технологии узкополосного интернета вещей (NB-IoT) в сети мобильной связи*

Утверждена приказом Ректора Университета № 261/0 от «29.09.25»

Срок сдачи законченной работы «30» января 2025г.

Исходные данные к дипломной работе: Стандарт NB-IoT представляет собой двустороннюю связь, действующую в частотном канале шириной 200 кГц; Скорость передачи данных в NB-IoT достигает 200 кбит/с; Дальность действия в городе достигает -1 км; Дальность действия в сельской местности достигает -10 км; Базовая станция NB-IoT может поддерживать более 50,000 устройства одновременно за счет эффективного планирования окон передачи и сна; Оптимальная развертывание NB-IoT в полосах радиочастот 700, 800 и 900 МГц.

Краткое содержание дипломной работы:

- а) Анализ сетей беспроводной связи LPWAN
- б) Реализация схемы внедрения технологии NB-IoT в сети мобильной связи
- в) Выбор технологии интернета вещей NB-IoT для сети мобильной связи
- г) Расчет параметров сети NB-IoT

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Структура системы интернета вещей
2. Схема внедрения технологии NB-IoT в сети мобильной связи
3. Рисунок – Сетевые достижения технологии NB-IoT

4. Рисунок – Сценарии внедрения технологии NB-IoT
5. Схема системы IoT в архитектуре «клиент — сервер»
6. Топология технологии LoRaWAN
7. Рисунок –Среда использования IoT

Рекомендуемая основная литература:

- 1) Папуловская, Наталья Владимировна. П17 Основы интернета вещей : учебно-методическое пособие / Н.В. Папуловская ; М-во науки и высшего образования РФ.— Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2022.— 104 с.
- 2) Семенченко П.И. Стандартизация взаимодействия устройств Интернета вещей // Постулат. 2017. № 11. С. 67–72.
- 3) Интернет вещей для «умных» городов. ООО «Эрнст энд Янг – оценка и консультационные услуги», – 2018. – С.60.
- 4) Росляков, А. В. Интернет вещей: учебное пособие / А. В. Росляков, С. В. Ваняшин, А. Ю. Гребешков. — Самара : ПГУТИ, 2015. —200 с.
- 5) Кранц, М. Интернет вещей. Новая технологическая революция /М. Кранц ; перевод З. А. Мамедьярова. — Москва : БОМБОРА, 2018. —332 с.
- 6) Тихвинский В. О. Сети IoT/M2M: технологии, архитектура и приложения/ В. О. Тихвинский, В. А. Коваль, Г. С. Бочечка, А. И. Бабин. Москва: Медиа Паблицер, 2017. - 375 с

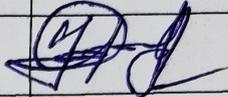
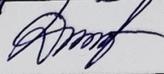
ГРАФИК

подготовки дипломной работы (проекта)

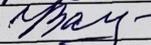
Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю и консультантам	Примечание
Анализ сетей беспроводной связи LPWAN	1.02.2025 - 1.03.2025	выполнено
Реализация схемы внедрения технологии NB-IoT в сети мобильной связи	1.03.2025 - 25.03.2025	выполнено
Выбор технологии интернета вещей NB-IoT для сети мобильной связи	25.03.2025 - 20.04.2025	выполнено
Расчет параметров сети NB-IoT	20.04.2025 – 20.05.2025	выполнено
Формирование разделов и оформление дипломной работы, отзывов, рецензии и прохождения процедур антиплагиата в соответствии с требованиями СТ КазНИТУ 09-2019	20.05.2025-05.06.2025	Окончательная версия дипломной работы не более 30 стр (без учета приложений), справка антиплагиата, отзыв и Рецензия

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Теоретическая часть	Старший преподаватель Джунусов Н.А.	26.05	
Основная часть	Старший преподаватель Джунусов Н.А.	26.05	
Нормоконтролер	Старший преподаватель Досбаев Ж.М.	23.05.2025	

Научный руководитель
Задание принял к исполнению обучающийся
Дата

 Джунусов Н.А.
 Дмитриенко А.В.
"28" 72 2025 г.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста тар жолақты заттар интернеті (NB-IoT) технологиясын мобильді байланыс желілеріне енгізу мәселесі қарастырылады. NB-IoT технологиясының негізгі ерекшеліктері, архитектурасы, артықшылықтары және қолдану салалары талданған. Басқа LPWAN технологияларымен салыстыру жүргізіліп, NB-IoT-ты қалалық және ауылдық инфрақұрылымда қолдану сценарийлері келтірілген. Желі параметрлері, мысалы, қамту аймағы мен қосылатын құрылғылар саны есептелген. Жұмыстың нәтижесі NB-IoT технологиясының энергияны аз тұтынатын, тиімді және ауқымды IoT жүйелерін іске асыруға қолайлы екенін көрсетеді.

АННОТАЦИЯ

В дипломной работе рассматривается внедрение технологии узкополосного интернета вещей (NB-IoT) в сети мобильной связи. Проанализированы особенности технологии NB-IoT, её архитектура, преимущества и области применения. Выполнено сравнение с другими LPWAN-технологиями и представлены возможные сценарии использования в городской и сельской инфраструктуре. Также произведены расчёты параметров сети, включая покрытие и количество подключаемых устройств. Работа подтверждает перспективность NB-IoT для массового подключения IoT-устройств при минимальных затратах энергии и ресурсов.

ANNOTATION

This thesis explores the implementation of Narrowband Internet of Things (NB-IoT) technology in mobile communication networks. It analyzes the key features of NB-IoT, its architecture, advantages, and application areas. A comparison with other LPWAN technologies is provided, along with practical deployment scenarios in urban and rural infrastructure. Network parameters such as coverage and device connectivity are calculated. The study confirms the potential of NB-IoT for large-scale IoT deployments with minimal energy and resource consumption.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	8
1 Анализ сетей беспроводной связи LPWAN	9
1.1 Классификация LPWAN-сетей	9
1.2 NB-IoT, LoRaWAN, Sigfox: сравнительный анализ	11
1.3 Вывод по анализу и классификации LPWAN-сетей	15
2 Реализация сценариев внедрения NB-IoT в сети мобильной связи	16
2.1 Архитектура NB-IoT	17
2.2 Примеры применения NB-IoT: «Умный город», жилищно-коммунальное хозяйство и сельское хозяйство	20
2.3 Вывод по архитектуре и примерам применения NB-IoT	23
3 Выбор технологии NB-IoT для мобильной сети	25
3.1 Аргументация выбора технологии	25
3.2 Совместимость NB-IoT с существующей инфраструктурой	27
3.3 Регуляторные аспекты и частотные диапазоны	29
3.4 Вывод выбора технологии NB-IoT для мобильной сети	32
4 Расчёт параметров сети NB-IoT	33
4.1 Расчёт зоны покрытия	33
4.2 Количество подключаемых устройств	35
4.3 Энергопотребление и параметры радиосети	36
4.4 Пропускная способность канала NB-IoT	38
4.5 Выводы по расчетам параметров сети NB-IoT	41
Заключение	42
Список использованной литературы	44

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы технологии Интернета вещей (IoT) стремительно развиваются, обеспечивая автоматизацию различных процессов, эффективное управление ресурсами и непрерывный мониторинг объектов в режиме реального времени. Для массового распространения IoT необходима беспроводная связь, способная подключать большое количество устройств с низким уровнем энергопотребления и обеспечивать широкую зону покрытия. Одной из наиболее перспективных технологий, удовлетворяющих этим требованиям, является узкополосный интернет вещей (NB-IoT), относящийся к категории LPWAN (Low Power Wide Area Networks) – сетей с низким энергопотреблением и большим радиусом действия.

NB-IoT был разработан в рамках стандарта 3GPP и предназначен для надёжной передачи небольших объёмов данных даже при слабом сигнале. Это делает технологию особенно подходящей для использования с датчиками и устройствами, размещёнными в труднодоступных местах, таких как подвалы, отдалённые объекты и подземные сооружения. Благодаря возможности интеграции в существующую инфраструктуру операторов сотовой связи, NB-IoT позволяет разворачивать масштабные IoT-системы на уровне городов и регионов без необходимости значительных капитальных вложений в новое оборудование.

Цель данной дипломной работы заключается в исследовании технологии NB-IoT, сравнительном анализе её преимуществ перед другими решениями класса LPWAN, а также разработке рекомендаций по её внедрению в инфраструктуру мобильной связи.

1 Анализ сетей беспроводной связи LPWAN

1.1 Классификация LPWAN-сетей

LPWAN (Low Power Wide Area Network) — это класс беспроводных телекоммуникационных сетей, специально разработанный для передачи небольших объемов данных на большие расстояния при минимальном энергопотреблении. Эти сети являются основой для масштабных решений в области Интернета вещей (IoT), обеспечивая устойчивую и недорогую связь для миллионов сенсоров, счетчиков и других устройств.

Ключевыми требованиями к LPWAN-сетям являются:

- Большой радиус действия (до 15–20 км в сельской местности и до 5 км в городской среде);
- Низкое энергопотребление (устройства могут работать от батареи до 10 лет);
- Массовое подключение (возможность подключения десятков тысяч устройств к одной базовой станции);
- Низкая скорость передачи данных (от 0,1 до 250 кбит/с, чего достаточно для телеметрии и периодической отправки измерений).

Такие параметры делают LPWAN оптимальными для приложений, где важны энергоэффективность и масштабируемость, но не требуется высокая скорость или непрерывный поток данных.

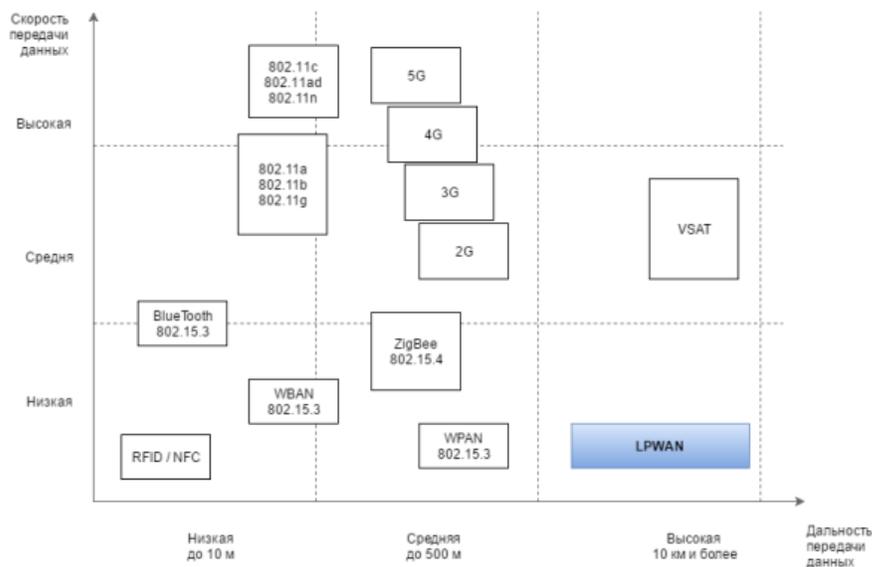


Рисунок 1 – Сравнение LPWAN с другими технологиями

LPWAN – это технология беспроводной связи, разработанная Лартех, предназначенная для создания сетей Интернета вещей (IoT) с большим количеством устройств, расположенных на значительном расстоянии друг от друга. Используя топологию "звезда" и нелицензируемый радиочастотный диапазон (868 МГц в России), LPWAN обеспечивает связь между удаленными датчиками и шлюзами. Эта технология, соответствующая стандартам LPWAN, позволяет быстро развертывать как публичные, так и частные IoT-сети, предлагая безопасную двустороннюю связь, совместимость между устройствами разных производителей, поддержку мобильности и низкое энергопотребление. Примеры применения LPWAN включают сбор данных со счетчиков, мониторинг температуры, отслеживание объектов, управление доступом, а также решения для "умных городов" и сельского хозяйства.

LPWAN - сети классифицируются по нескольким критериям:

1. По типу частотного спектра:

– Лицензируемый спектр – используется, как правило, в сотовых сетях, под контролем государственных регуляторов (например, NB-IoT).

– Нелицензируемый спектр – открыт для общего пользования, чаще всего это диапазоны ISM (433 МГц, 868 МГц, 915 МГц), применяется в LoRaWAN, Sigfox и других.

2. По модели собственности и управления:

– Операторские LPWAN-сети – развёртываются сотовыми операторами (NB-IoT, LTE-M), централизованное управление, гарантированное покрытие и качество сервиса.

– Децентрализованные LPWAN-сети – могут быть установлены частными компаниями или городскими организациями (например, LoRaWAN может быть частной сетью на предприятии).

3. По технологии доступа и протоколам:

– Сотовые LPWAN-сети: NB-IoT, LTE-M (Cat M1) – работают на базе сотовых сетей, полностью совместимы с LTE/5G-инфраструктурой.

– Несотовые LPWAN-сети: LoRaWAN, Sigfox, Weightless – требуют собственной инфраструктуры, работают на свободных частотах, используют простые протоколы с низкой нагрузкой.

4. По технологии передачи данных:

– Narrowband (узкополосные) – NB-IoT, Sigfox. Используют малую ширину канала (до 200 кГц) для передачи небольших пакетов.

– Spread Spectrum (расширенный спектр) – LoRaWAN применяет технологию спектрального расширения (chirp spread spectrum) для повышения устойчивости к шуму.

1.2 NB-IoT, LoRaWAN, Sigfox: сравнительный анализ

С развитием Интернета вещей (IoT) перед телекоммуникационной отраслью встал вызов создания сетевой инфраструктуры, способной обеспечивать массовое подключение устройств с низким энергопотреблением, высокой надёжностью и минимальными затратами на обслуживание. Наиболее перспективным решением стали LPWAN-сети, среди которых лидирующие позиции занимают три технологии: NB-IoT, LoRaWAN и Sigfox. Несмотря на общую цель – поддержка IoT-устройств в условиях ограниченного ресурса и удалённости, каждая из них обладает уникальными техническими особенностями, архитектурой и сценариями применения.

NB-IoT (Narrowband Internet of Things) –это технология LPWAN, разработанная 3GPP как часть стандарта LTE (начиная с Release 13). NB-IoT предназначена для работы в лицензируемом спектре и полностью интегрируется в инфраструктуру операторов сотовой связи, позволяя им использовать уже существующие базовые станции и ядро сети.

Основные характеристики:

- Ширина канала: 180 кГц;
- Спектр: лицензируемый (частоты LTE/5G);
- Архитектура: централизованная, интеграция в ядро EPC (Evolved Packet Core);
- Скорость передачи: до 250 кбит/с (в downlink);
- Покрытие: до 10 км (в городских условиях – около 1–2 км);
- Задержка: от 1,5 до 10 секунд;
- Энергопотребление: устройство может работать до 10 лет от батареи;
- Поддержка подключения: до 50 000 устройств на соту;
- Надёжность: высокая, уровень сигнала до –164 дБ;
- Безопасность: встроенные LTE-протоколы (шифрование, аутентификация).

Преимущества NB-IoT:

Использует надёжную сотовую инфраструктуру; высокая масштабируемость и безопасность; гарантированное качество связи и сервисов; подходит для массового городского и промышленного IoT.

Недостатки:

Зависимость от операторов связи; требуется лицензия на спектр; более высокая стоимость модулей и абонентского обслуживания по сравнению с нелицензируемыми сетями.

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) –это сетевой протокол с низким энергопотреблением и глобальной сетью. Он разработан для беспроводного подключения «вещей» с питанием от батареек к Интернету в региональных, национальных или глобальных сетях и предназначен для Интернета вещей.

Данная спецификация разработана и поддерживается открытой ассоциацией LoRa Alliance, протокол не является частным и для его работы не требуется получение лицензий на использование частот.

Для работы LoRaWAN - сетей необходимы базовые станции, которые позволяют производить модуляцию и демодуляцию радиосигнала стандарта LoRa. Они транслируют данные через Интернет на сервер сети. Сервер сети LoRaWAN управляет расписанием передачи данных, адаптацией скорости, а также обрабатывает принимаемые данные. Полученные пакеты расшифровываются и передаются на сервер приложений, который занимается обработкой данных прикладного уровня модели OSI ISO. Наглядная схема работы сетей LoRaWAN представлена на рисунке 2



Рисунок 2 – Концепция обмена данными в сетях LoRaWAN

Основные характеристики:

- Частотный диапазон: 433/868 МГц (Европа), 915 МГц (США);
- Ширина канала: 125–250 кГц;
- Скорость передачи: от 0,3 до 50 кбит/с;
- Покрытие: до 15–20 км в сельской местности, 2–5 км в городской;
- Энергопотребление: до 10 лет автономной работы;
- Массовое подключение: до 10 000 устройств на шлюз;
- Безопасность: используется 128-битное AES-шифрование на уровне приложений.

LoRa – это технология модуляции – физический уровень в модели OSI ISO. Скорость передачи данных варьируется от 0,3 кбит/с до 50 кбит/с [10]. В городских условиях, например, в Астане для качественной работы сети LoRa и

стабильного покрытия понадобилось 40-50 базовых станций и радиус работы был выбран 1000 м. Также LoRa поддерживает адаптивную настройку скорости передачи данных, что позволяет увеличить время автономной работы конечных устройств и увеличить пропускную способность шлюза

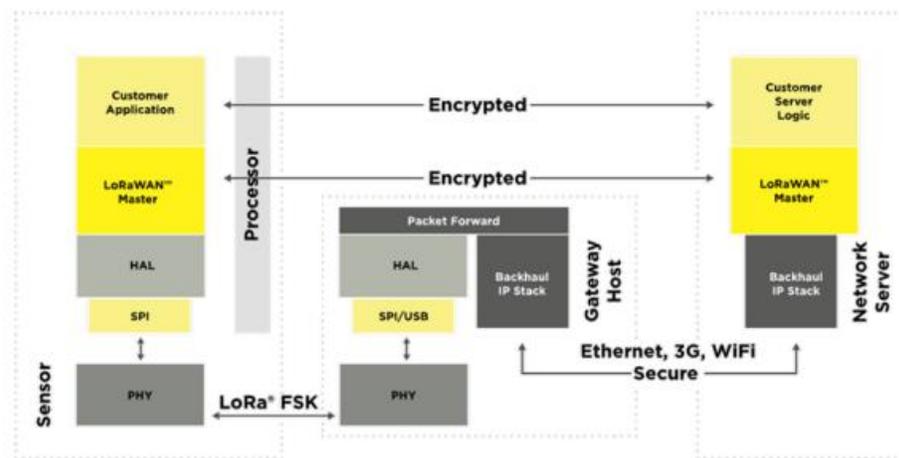


Рисунок 3 – Схема взаимодействия в сети LoRaWAN

LoRaWAN имеет три различных класса конечных устройств для удовлетворения различных потребностей

- Класс А – конечные устройства с самой низкой мощностью. Связь всегда инициализируется конечными устройствами и является полностью асинхронной. Каждая отправка данных может быть произведена в любое время, и за ней следуют два коротких окна, позволяющие при необходимости получить команды управления сетью.

- Класс В – конечные устройства с детерминированной задержкой нисходящей линии связи. В дополнение к иницируемым окнам приема данных класса А, устройства синхронизируются с сетью в запланированные моменты времени. Задержка программируется до 128 секунд для разных приложений, а дополнительное потребление энергии достаточно низкое.

- Класс С – конечные устройства с самой низкой задержкой. Устройство постоянно «прослушивает» сеть во все время, пока не осуществляет отправки информации. Сетевой сервер может инициировать передачу данных в любое время, задержка отсутствует. Однако данный класс подходит для устройств с постоянным поддержанием энергии.

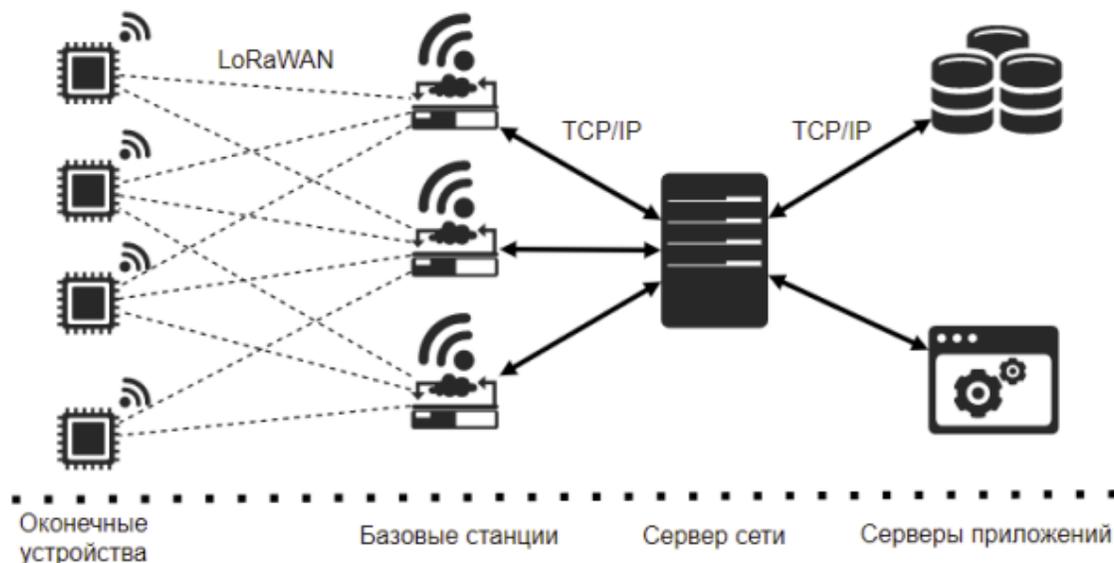


Рисунок 4 – Топология LoRaWAN

Sigfox – это проприетарная LPWAN-технология, разработанная французской компанией Sigfox. Она использует узкополосную модуляцию (ultra narrow band, UNB) и крайне низкую скорость передачи данных. Основной особенностью является централизованное управление сетью, где инфраструктура принадлежит оператору Sigfox.

Основные характеристики:

- Спектр: нелицензируемый ISM;
- Ширина канала: около 100 Гц;
- Скорость передачи: до 100 бит/с;
- Покрытие: до 50 км в сельской и до 10 км в городской местности;
- Энергопотребление: сверхнизкое, до 10 лет от батареи;
- Число сообщений: максимум 140 uplink сообщений/сутки (по 12 байт) и 4 downlink сообщения (по 8 байт);
- Безопасность: базовый уровень, отсутствие end-to-end шифрования.
- Преимущества Sigfox:

Простота и минимализм протокола; очень низкое энергопотребление; лёгкость интеграции устройств; хорошее покрытие благодаря узкой полосе частот.

Недостатки:

Сильные ограничения на размер и количество сообщений; зависимость от инфраструктуры одного оператора; низкая скорость и отсутствие гибкости; слабая защита данных, ограниченные сценарии использования.

Таблица 1 – Сравнительный анализ NB-IoT, LoRaWAN, Sigfox

Параметр	NB-IoT	LoRaWAN	Sigfox
Спектр	Лицензируемый	Нелицензируемый	Нелицензируемый
Ширина полосы	180 кГц	125–250 кГц	100 Гц
Скорость передачи	до 250 кбит/с	до 50 кбит/с	до 100 бит/с
Максимальное покрытие	~10 км (город), до 35 км	до 15–20 км	до 50 км
Количество устройств/сота	до 50 000	до 10 000	до 1 000 000 (ограничено передачами)
Энергопотребление	Очень низкое	Очень низкое	Сверхнизкое
Надёжность связи	Очень высокая	Средняя	Низкая
Безопасность	LTE-уровень	AES-128	Базовая
Открытость стандарта	3GPP (открытый)	Открытый протокол	Проприетарный
Требует оператора	Да	Нет (опционально)	Да

Сравнительный анализ показывает, что каждая из рассмотренных LPWAN-технологий имеет свои сильные стороны и ограничения:

- NB-IoT – оптимален для крупных операторов и городских систем, где важны надёжность, безопасность и интеграция с сотовыми сетями;
- LoRaWAN – универсальный выбор для децентрализованных решений и частных сетей в умном городе, сельском хозяйстве, промышленности;
- Sigfox – подходит для дешёвых и простых решений, где требуется лишь односторонняя передача данных с минимальной частотой.

Выбор конкретной технологии должен базироваться на требованиях проекта, бюджете, инфраструктурных возможностях и доступности покрытия

1.3 Вывод по анализу и классификации LPWAN-сетей

В первой главе был проведён обзор технологии LPWAN – класса сетей, ориентированных на энергосберегающую передачу данных на большие расстояния, что делает их особенно актуальными в условиях стремительного развития Интернета вещей. Рассмотренные технологии NB-IoT, LoRaWAN и

Sigfox наглядно демонстрируют, насколько разнообразны архитектурные и функциональные подходы к решению задачи массового беспроводного подключения.

Было установлено, что:

LPWAN-сети обладают рядом уникальных преимуществ, таких как низкое энергопотребление, высокая дальность связи, простота протоколов и способность масштабироваться до миллионов устройств, что делает их ключевым компонентом современных IoT-систем.

NB-IoT представляет собой сотовую технологию с высокой надёжностью, безопасностью и глубокой интеграцией в инфраструктуру LTE/5G. Она идеально подходит для городских и промышленных решений, требующих стабильной передачи данных и централизованного управления.

LoRaWAN отличается открытостью и гибкостью – её можно разворачивать без участия операторов, что даёт преимущество в частных и территориально распределённых сетях, особенно в сельском хозяйстве, логистике, ЖКХ и проектах «умный город».

Sigfox предлагает минималистичный и сверхэнергоэффективный подход, но с жёсткими ограничениями по объёму и частоте передачи данных, что сужает сферу его применения.

Проведённый сравнительный анализ показывает, что ни одна из технологий не является универсальной. Каждая имеет свои сильные и слабые стороны, и выбор между ними должен основываться на конкретных задачах проекта, технических и экономических требованиях, а также доступной инфраструктуре.

Таким образом, LPWAN-сети являются важнейшей частью телекоммуникационного ландшафта и играют ключевую роль в реализации концепции устойчивого и повсеместного Интернета вещей. В следующих главах будет рассмотрено практическое применение и особенности внедрения NB-IoT в существующие сети мобильной связи.

2 Реализация сценариев внедрения NB-IoT в сети мобильной связи

В настоящее время консорциумом 3GPP определено три основных сценария использования, выделенных под услуги NB-IoT спектра (рис.4). Первый сценарий заключается в развертывании «внутри полосы» (in band NB-IoT), где NB-IoT развертывается внутри существующего LTE спектра, используемого для MBW (Mobile broadband) услуг. Второй сценарий, т.н. «защищенная полоса» (guard band NB-IoT), использует спектр по краям канала существующих LTE, что в свою очередь не гарантирует отсутствие помех от смежного канала на границах сот LTE. «Защищенные полосы» могут быть использованы без учета мощностей основных базовых станций LTE. Последний, третий сценарий, заключается в развертывании NB-IoT непосредственно в выделенных частотах, а также в использовании совокупности различных выделенных базовых станций специально для LTE и MBW (standalone NB-IoT)



Рисунок 5 – Сценарии внедрения технологии NB-IoT

В упрощенном виде варианты развертывания NB-IoT сети можно представить в виде следующей иллюстрации:

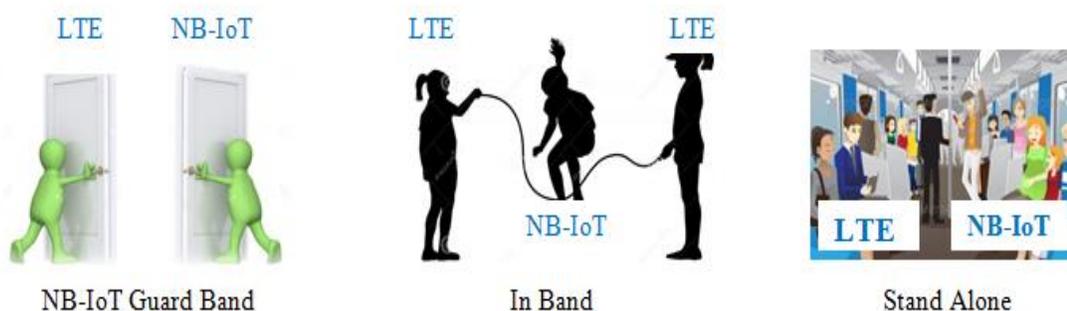


Рисунок 6 – Упрощенный вид развертывания NB-IoT

Возможность развертывания на базе существующих сетей LTE, а также сетей GSM и UMTS является одним из существенных преимуществ NB-IoT перед другими технологиями. Например, для GSM операторов достаточно заменить один носитель GSM (200 кГц) на NB-IoT. В то время как оператор,

предоставляющий LTE услуги, может развернуть NB-IoT внутри носителя LTE путем выделения одного из ресурсных блоков (physical resource block, PRB) от 180 кГц в соответствующей полосе частот от 450 МГц до 3.5 ГГц. При этом максимальные скорости (download/upload) равны примерно 250 кбит/с для мультитональной и 20 кбит/с для однотоновой модуляции.

Таким образом, развертывание NB-IoT при условии поддержки поставщиком оборудования данной технологии не занимает много времени.

2.1 Архитектура NB-IoT

Архитектура NB-IoT строится на базе существующей сотовой инфраструктуры (4G LTE), и включает в себя следующие ключевые компоненты:

- Устройства конечного пользователя (UE – User Equipment) Это сенсоры, счётчики, трекеры и другие IoT-устройства, поддерживающие NB-IoT. Они отличаются низким энергопотреблением и работают в спящем режиме большую часть времени. Их основная задача – периодически отправлять небольшие объёмы данных (например, показания счётчиков воды, газа, уровня жидкости и т.д.).

- Сеть радиодоступа (RAN – Radio Access Network) Представлена базовыми станциями (eNodeB), адаптированными для поддержки NB-IoT. Передача данных может осуществляться в одном из трёх режимов:

In-band – в пределах существующего LTE-канала;

Guard-band – в защитной полосе между LTE-каналами;

Standalone – на частотах, ранее использовавшихся сетями GSM.

- Ядро сети (EPC – Evolved Packet Core) NB-IoT может использовать существующее ядро LTE (включая компоненты MME, S-GW и P-GW) с небольшими доработками, что позволяет операторам быстро внедрять технологию без необходимости создания отдельной инфраструктуры. Однако для специфики IoT внедряются дополнительные элементы:

SGi интерфейс – точка подключения к внешним IP-сетям и IoT-платформам; SCEF (Service Capability Exposure Function) –компонент, обеспечивающий безопасный доступ внешних приложений к данным устройств и управляющим возможностям сети;

NEF (Network Exposure Function) – интерфейс взаимодействия между ядром сети и внешними API в архитектуре 5G Core.

- Платформа управления IoT (IoT Platform / Application Server) На этом уровне осуществляется сбор, хранение, анализ и визуализация данных, поступающих от устройств. Платформы могут быть облачными или локальными,

обеспечивая API для взаимодействия с внешними сервисами и автоматизированными системами управления.

Принципы энергосбережения в архитектуре NB-IoT

NB-IoT включает два ключевых механизма энергосбережения:

- eDRX (extended Discontinuous Reception) –устройство может оставаться в спящем режиме в течение длительного времени, просыпаясь только в заранее определённые интервалы для приёма данных;

- PSM (Power Saving Mode) –режим глубокой "гибернации", в котором устройство полностью отключает радиointерфейс, сохраняя при этом регистрацию в сети.

- Эти механизмы позволяют устройствам работать автономно от батареи в течение 5–10 лет, что критически важно для масштабного IoT-развёртывания.

Таблица 2 – Особенности архитектуры NB-IoT в сравнении с традиционным LTE

Характеристика	LTE	NB-IoT
Пропускная способность	Высокая	Низкая
Задержка передачи	До 100 мс	1–10 секунд
Энергопотребление устройств	Среднее	Очень низкое
Поддержка мобильности	Полная	Ограниченная или отсутствует
Модель трафика	Высокий и стабильный поток	Периодические короткие сообщения
Подключение устройств/ячейка	До 1 000	До 50 000

Таким образом, NB-IoT ориентирован на нечастую, надёжную и энергоэффективную передачу малых объёмов данных от большого количества

устройств — в отличие от LTE, который рассчитан на высокоскоростную передачу данных с постоянным подключением.

Архитектура NB-IoT позволяет операторам выбрать подходящий вариант внедрения в зависимости от их инфраструктурных и коммерческих задач:

- Интеграция NB-IoT в существующую LTE-сеть. Минимальные затраты, быстрое внедрение. Используется общий eNodeB и ядро LTE с программными доработками.

- Развёртывание в выделенном спектре (standalone). Возможность задействовать освободившиеся GSM-частоты. Подходит для сценариев с высоким трафиком от IoT-устройств и меньшей зависимостью от LTE.

- Переход на архитектуру 5G Core с NEF/SCEF. NB-IoT поддерживается в 5G и может использовать компоненты новой архитектуры. Обеспечивается сквозная безопасность, SLA, гибкие интерфейсы API и широкие аналитические возможности.

Архитектура NB-IoT является логичным развитием сотовых технологий в сторону поддержки Интернета вещей. Её гибкость, совместимость с LTE/5G, встроенные механизмы энергосбережения и высокая ёмкость делают NB-IoT одним из самых перспективных стандартов для массового и надёжного подключения устройств. Благодаря архитектуре, ориентированной на операторов связи, NB-IoT уже сегодня активно используется в решениях для «умных городов», промышленного мониторинга, ЖКХ и логистики

2.2 Примеры применения NB-IoT: «Умный город», жилищно-коммунальное хозяйство и сельское хозяйство

NB-IoT (узкополосный интернет вещей) на сегодняшний день является одной из наиболее перспективных технологий для массового внедрения IoT-решений. Благодаря высокой энергоэффективности, стабильной передаче данных на большие расстояния и возможности подключения десятков тысяч устройств на одну базовую станцию, NB-IoT идеально подходит для применения в реальных секторах экономики. Особенно заметны успехи в таких сферах, как смарт-сити (умный город), жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ) и сельское хозяйство.

Умный город (Smart City)

Концепция «умного города» предполагает цифровую трансформацию городской среды с целью повышения качества жизни граждан, улучшения экологии, безопасности и эффективности управления городскими ресурсами. NB-

IoT выступает в качестве ключевой технологии, позволяющей внедрять массовые датчики и подключённые устройства по всему городу.

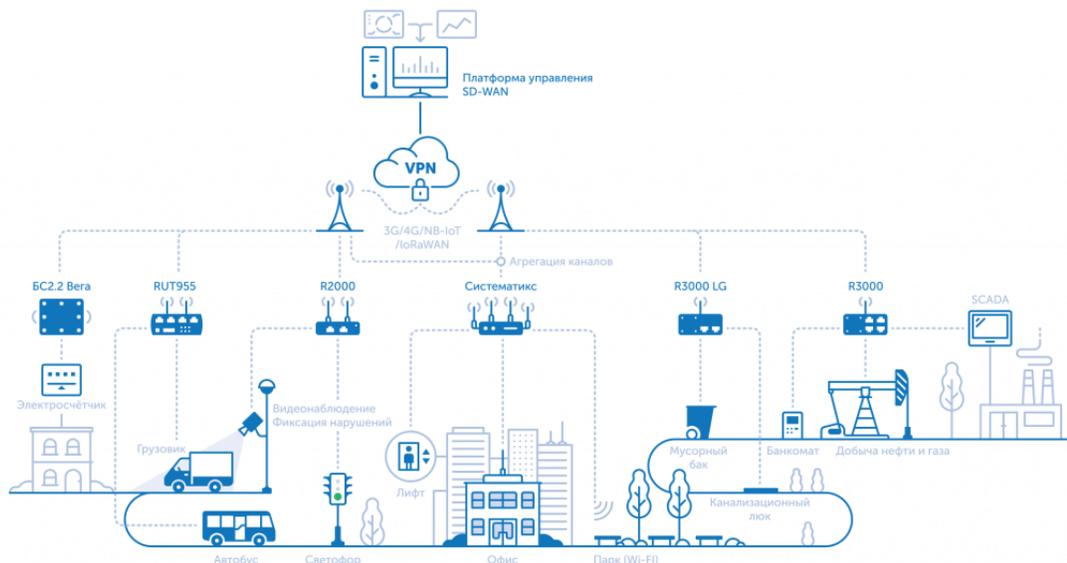


Рисунок 7 – Интернет вещей в умном городе IoT

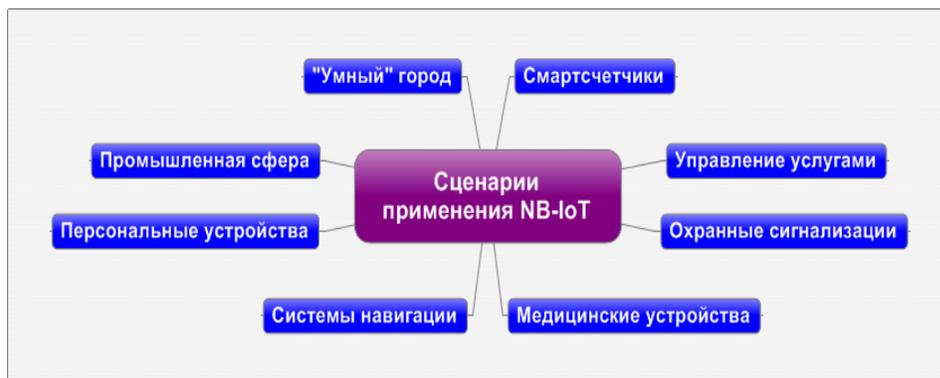


Рисунок 8 – Сценарии применения NB-IoT

Примеры применения:

- Умное освещение. Осветительные столбы, оснащённые NB-IoT-контроллерами, автоматически включаются и регулируют яркость в зависимости от времени суток, погодных условий или движения пешеходов. Это позволяет снизить энергопотребление до 50–70%.

- Мониторинг парковочных мест. Сенсоры, установленные в асфальте, фиксируют наличие автомобиля и передают данные в реальном времени на мобильное приложение, позволяя водителям быстро находить свободные места.

- Контроль окружающей среды. Станции качества воздуха, температуры, влажности и уровня шума с NB-IoT-модулями формируют экологические карты города, позволяя оперативно реагировать на загрязнение.

- Система «умного» транспорта. Мониторинг городских автобусов и другого общественного транспорта через NB-IoT помогает в оптимизации маршрутов, мониторинге времени в пути и предиктивном обслуживании транспорта.

- Безопасность и видеонаблюдение. NB-IoT-устройства используются для сигнализации, датчиков движения, контроля доступа в общественные здания, с возможностью интеграции в единую систему безопасности.

2) Жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ)

Сфера ЖКХ – одна из наиболее готовых к цифровизации благодаря очевидной потребности в автоматизации процессов учёта, контроля потребления и предотвращения аварий. NB-IoT позволяет дистанционно собирать данные и управлять коммунальной инфраструктурой, снижая расходы на обслуживание и повышая точность учёта ресурсов.

Примеры внедрения:

а) Умные счётчики воды, газа, тепла и электроэнергии. NB-IoT-счётчики позволяют передавать показания напрямую в биллинговые системы без участия жильцов или контролёров. Это устраняет ошибки и снижает эксплуатационные издержки.

б) Контроль утечек и аварий. Датчики утечки воды или газа в квартирах и подвалах мгновенно передают информацию в управляющую компанию, позволяя предотвратить аварии и снизить ущерб.

в) Система управления отоплением. Умные термостаты и контроллеры отопительных систем позволяют гибко регулировать температуру в зависимости от погоды, времени суток и загрузки помещений.

г) Контейнеры для отходов с NB-IoT. Оснащение мусорных контейнеров датчиками наполнения позволяет оптимизировать график вывоза мусора и снизить затраты на логистику.

д) Пожарная безопасность. Датчики задымления и температурные сенсоры могут оперативно предупредить о возгораниях в жилых домах или подвалах.

3) Сельское хозяйство (AgroTech)

В сельском хозяйстве NB-IoT открывает возможности для прецизионного земледелия и удалённого мониторинга аграрных объектов. В условиях удалённости ферм и необходимости работы в автономном режиме, преимущества NB-IoT становятся особенно ценными.

Ключевые направления применения:

а) Мониторинг состояния почвы. Датчики влажности, pH, температуры и уровня удобрений передают информацию в реальном времени, позволяя точно

определять потребности полей и предотвращать переувлажнение или пересушивание.

б) Автоматизация полива. NB-IoT позволяет управлять насосами и клапанами в системах орошения на основе показаний датчиков, обеспечивая экономию воды и повышение урожайности.

с) Контроль за животными. С помощью NB-IoT-трекеров можно отслеживать перемещения и поведение скота, а также контролировать состояние здоровья животных (например, путём мониторинга температуры тела).

д) Хранилища и склады. Сенсоры температуры и влажности позволяют контролировать условия хранения зерна, овощей, молочной продукции и других товаров.

е) Прогнозирование погодных условий. Установленные по полям метеостанции с NB-IoT-связью помогают аграриям принимать решения на основе локального прогноза, повышая эффективность полевых работ.

Преимущества NB-IoT в реальных сценариях

– Низкая стоимость обслуживания. Благодаря возможности работы без замены батареи до 10 лет и отсутствию необходимости в частом техническом обслуживании, NB-IoT значительно снижает операционные издержки.

– Широкое покрытие. Технология NB-IoT способна обеспечивать связь даже в подвалах зданий, подземных парковках и на отдалённых сельхозугодьях.

– Надёжность и безопасность. Использование лицензируемого спектра и встроенные механизмы шифрования делают NB-IoT устойчивой к помехам и надёжной для критических приложений.

– Масштабируемость. Возможность подключения десятков тысяч устройств на соту делает NB-IoT идеальной для городских и региональных проектов.

Технология NB-IoT уверенно выходит за рамки теоретических концепций и находит широкое практическое применение в различных отраслях. На примере «умного города», ЖКХ и сельского хозяйства можно наблюдать, как цифровизация с применением NB-IoT повышает прозрачность процессов, снижает издержки и способствует устойчивому развитию. Внедрение NB-IoT в реальных проектах подтверждает её зрелость, эффективность и потенциал как базовой технологии для Интернета вещей будущего.

2.3 Вывод по архитектуре и примерам применения NB-IoT

NB-IoT представляет собой узкополосную технологию связи, ориентированную на энергоэффективное подключение огромного количества IoT-устройств. Её архитектура гибко интегрируется в существующую инфраструктуру операторов мобильной связи, позволяя реализовать развёртывание как в составе

LTE-сетей (in-band и guard-band режимы), так и на основе выделенного спектра (standalone). Использование стандартных компонентов ядра сети и добавление новых функций, таких как SCEF и NEF, обеспечивает масштабируемость, безопасность и надёжность обмена данными.

Практические сценарии применения NB-IoT продемонстрировали высокую востребованность технологии в таких направлениях, как smart-сити, жилищно-коммунальное хозяйство и сельское хозяйство. В городах NB-IoT позволяет организовать интеллектуальное освещение, мониторинг парковок, экологический контроль и безопасность. В ЖКХ – автоматизировать учёт ресурсов, контролировать утечки и удалённо управлять инженерными системами. В агросекторе – обеспечивать мониторинг почвы, орошение и отслеживание состояния животных.

NB-IoT показала свою эффективность в условиях, где требуется долгосрочная автономная работа устройств, надёжность передачи данных и минимальные эксплуатационные затраты. Её устойчивость к помехам, широкая зона покрытия, низкая стоимость развертывания и интеграция с существующими мобильными сетями делают её одной из ключевых технологий для массового внедрения Интернета вещей.

Таким образом, NB-IoT уже сегодня формирует основу цифровой трансформации отраслей, способствуя повышению качества жизни, снижению расходов и более устойчивому управлению ресурсами. В следующей главе будет рассмотрен процесс интеграции NB-IoT в инфраструктуру мобильного оператора, включая технические, организационные и экономические аспекты.

3 Выбор технологии NB-IoT для мобильной сети

3.1 Аргументация выбора технологии

В условиях стремительного роста рынка Интернета вещей (IoT) перед операторами мобильной связи остро встаёт вопрос выбора оптимальной технологии, способной удовлетворить требования к масштабируемости, энергоэффективности, покрытию и стоимости обслуживания. Среди множества существующих решений особое внимание привлекает технология NB-IoT (Narrowband Internet of Things), разработанная в рамках стандартов 3GPP и предназначенная специально для массовых IoT-развёртываний.

Выбор технологии NB-IoT для интеграции в инфраструктуру мобильной сети обусловлен рядом технических, экономических и стратегических факторов. Ниже приведена комплексная аргументация, объясняющая целесообразность такого выбора.

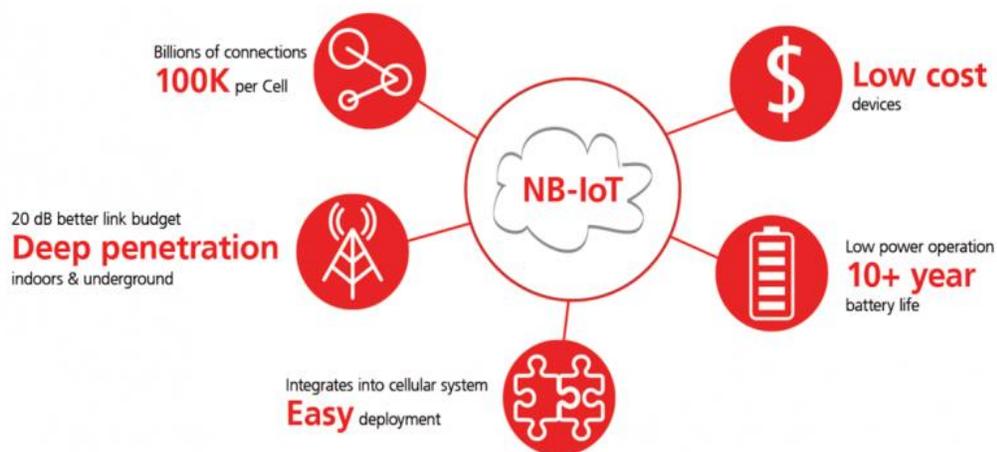


Рисунок 9 – Сетевые достижения технологии NB-IoT

1. Технические преимущества NB-IoT

– NB-IoT обеспечивает связь даже в труднодоступных местах – подвалах зданий, паркингах, колодцах, промышленных объектах и сельской местности. Благодаря использованию узкополосного канала шириной всего 180 кГц, технология демонстрирует улучшенную чувствительность приёма сигнала, достигая уровня -164 дБм. Это критично для обеспечения связи с IoT-устройствами, расположенными вне зоны действия традиционного LTE.

– NB-IoT позволяет подключать до 50 000 устройств на одну соту, что делает её незаменимой для массовых развёртываний, таких как «умные» счётчики,

сенсоры и контроллеры. Это особенно важно в условиях урбанизации и развития концепции Smart City.

– Технология поддерживает режимы энергосбережения eDRX и PSM, позволяющие IoT-устройствам функционировать до 10 лет без замены батареи. Это снижает эксплуатационные расходы и делает NB-IoT экономически эффективной при работе с автономными устройствами.

– NB-IoT может быть внедрён в рамках уже функционирующей LTE-сети – в in-band, guard-band или standalone режиме. Это позволяет мобильным операторам использовать существующие базовые станции и ядро сети (EPC), избегая крупных инвестиций в новое оборудование.

– Работа в лицензируемом частотном спектре обеспечивает устойчивость к помехам и высокую степень защищённости данных. Поддержка встроенного шифрования и аутентификации по стандартам 3GPP делает NB-IoT надёжной платформой для передачи данных критической важности.

2. Экономические и стратегические факторы

– NB-IoT-устройства характеризуются минимальной стоимостью подключения, обслуживания и поддержки. Уменьшенные требования к пропускной способности и устойчивость к задержкам делают возможным применение недорогих микроконтроллеров и радиомодемов, что в целом снижает стоимость владения.

– Интеграция NB-IoT в существующие сотовые сети позволяет операторам быстро запускать новые IoT-сервисы без масштабной перестройки инфраструктуры. Это ускоряет выход на рынок и даёт конкурентное преимущество.

– NB-IoT открывает перед мобильными операторами новые бизнес-ниши – от ЖКХ и логистики до агротеха и промышленной автоматизации. Возможность предоставления M2M-сервисов и платёжных решений на базе NB-IoT позволяет диверсифицировать доходы и сократить зависимость от традиционного голосового и мобильного трафика.

– Развитие IoT входит в приоритеты национальных и международных программ цифровизации. Использование NB-IoT позволяет операторам соответствовать требованиям умных городов, устойчивого развития, повышения энергоэффективности и цифровой трансформации промышленности.

Выбор технологии NB-IoT для мобильной сети обусловлен её высокой совместимостью с существующей инфраструктурой, технической надёжностью, масштабируемостью и соответствием требованиям энергоэффективности. Это решение предоставляет операторам возможность гибко и быстро внедрять IoT-сервисы, открывая новые источники дохода и укрепляя свою позицию в условиях

цифровой экономики. На фоне альтернативных технологий NB-IoT демонстрирует оптимальный баланс между стоимостью, качеством и надёжностью, что делает её приоритетным направлением развития LPWAN-сетей в сотовом сегменте

3.2 Совместимость NB-IoT с существующей инфраструктурой

Одним из ключевых факторов, повлиявших на широкое внедрение технологии NB-IoT (Narrowband Internet of Things) в мобильных сетях, является её высокая степень совместимости с существующей телекоммуникационной инфраструктурой операторов сотовой связи. Это позволяет минимизировать затраты на развёртывание, ускорить запуск коммерческих сервисов и использовать уже действующие механизмы управления, безопасности и тарификации.

1. Основные режимы развёртывания NB-IoT в LTE-сетях

NB-IoT был изначально разработан консорциумом 3GPP как расширение стандартов LTE. Он может быть развёрнут тремя основными способами, каждый из которых учитывает особенности архитектуры оператора:

a) In-band deployment (в полосе частот LTE)

NB-IoT использует один из ресурсных блоков (RB) внутри LTE-носителя. Это позволяет совмещать NB-IoT и LTE в одной и той же полосе, не создавая дополнительной нагрузки на инфраструктуру. Данный режим особенно актуален для операторов с высокой плотностью LTE-покрытия.

b) Guard-band deployment (в защитной полосе LTE)

NB-IoT разворачивается в резервной полосе частот между LTE-несущими, которая традиционно не использовалась для передачи полезного трафика. Это решение позволяет максимально эффективно использовать частотный ресурс без влияния на основной LTE-трафик.

c) Standalone deployment (на выделенном спектре)

Этот режим используется при наличии выделенного частотного спектра (например, ранее используемого для GSM). NB-IoT может быть развёрнут на спектре шириной всего 200 кГц, что позволяет переиспользовать старые частотные диапазоны без обновления базовых станций.

2. Совместимость с существующими базовыми станциями (eNodeB)

Многие современные базовые станции LTE, устанавливаемые с 2016 года и позже, изначально поддерживают NB-IoT на уровне программного обеспечения. В большинстве случаев достаточно обновления прошивки (software upgrade), без необходимости замены оборудования. Это особенно актуально для архитектур с

модульной структурой (например, Huawei, Ericsson, Nokia), где добавление NB-IoT функциональности происходит быстро и централизованно.

Таким образом, большинство операторов могут активировать NB-IoT в рамках имеющегося радиодоступа без крупных инвестиций в «железо».

3. Использование ядра LTE-сети (EPC)

NB-IoT использует существующее EPC (Evolved Packet Core) мобильной сети, включая:

- MME (Mobility Management Entity) – управление сессиями и авторизация устройств;

- SGW / PGW – маршрутизация трафика;

- PCRF – управление политиками и тарификацией;

- HSS / UDM – аутентификация и хранение профилей абонентов.

Также NB-IoT поддерживает интеграцию с новыми компонентами, ориентированными на IoT:

- SCEF (Service Capability Exposure Function) – шлюз для взаимодействия с внешними IoT-приложениями через REST API;

- NEF (Network Exposure Function) – компонент 5G Core, обеспечивающий безопасный доступ к сетевым функциям.

Таким образом, NB-IoT легко встраивается в существующую модель управления и биллинга, используемую мобильными операторами.

4. Управление устройствами и абонентская база

NB-IoT использует SIM-карты формата M2M / eSIM, что обеспечивает:

- Идентификацию и безопасность на основе уже существующих стандартов;

- Совместимость с текущими системами активации, биллинга и SLA;

- Возможность работы с платформами удалённого управления устройствами (Device Management Platform), такими как Huawei OceanConnect, Cisco Jasper, Nokia IMPACT и другими.

NB-IoT-устройства управляются аналогично обычным мобильным абонентам, что значительно упрощает масштабирование IoT-сервисов.

5. Сетевая безопасность и QoS

NB-IoT наследует все механизмы безопасности от LTE-сети:

- Шифрование трафика (NAS/AS);

- Защита от подмены и повторной передачи;

- Контроль подлинности устройств;

- Поддержка различных уровней QoS (Quality of Service) для приоритетного трафика, например, аварийных уведомлений.

Это особенно важно при работе в критических сценариях – в ЖКХ, промышленности и системах безопасности.

6. Интеграция с IoT-платформами

NB-IoT легко подключается к корпоративным или облачным IoT-платформам с помощью стандартных протоколов: MQTT, CoAP, HTTP/HTTPS, LwM2M. Это упрощает сбор, анализ и визуализацию данных, а также интеграцию с бизнес-процессами.

Многие операторы (например, МТС, Теле2, Beeline) уже предоставляют интегрированные IoT-платформы с NB-IoT-доступом, что упрощает вход в рынок для B2B-клиентов.

Высокая совместимость NB-IoT с существующей инфраструктурой мобильных операторов – один из главных факторов, определивших её успех на рынке. Возможность развертывания в рамках LTE-сетей, использование стандартного ядра, сохранение механизмов безопасности и поддержки абонентов позволяет операторам быстро и экономически эффективно запускать IoT-сервисы. Таким образом, NB-IoT становится логичным и стратегически выгодным расширением мобильной сети для поддержки растущего сегмента Интернета вещей.

3.3 Регуляторные аспекты и частотные диапазоны

Внедрение технологии NB-IoT (Narrowband Internet of Things) в мобильных сетях невозможно без учёта нормативно-правовой базы и частотного регулирования. Поскольку NB-IoT работает в лицензируемом спектре, её внедрение требует согласования с государственными регуляторами, соблюдения международных стандартов и адаптации к национальным требованиям в области радиочастотного распределения. Данный раздел рассматривает основные регуляторные аспекты, особенности лицензирования, распределения спектра, а также конкретные частотные диапазоны, применяемые для NB-IoT в разных странах, включая Россию и страны ЕАЭС.

1. Государственные органы регулирования связи в Казахстане

В Республике Казахстан регулирование в области связи, в том числе внедрения технологий NB-IoT (Narrowband Internet of Things), осуществляют следующие ключевые государственные органы:

- Министерство цифрового развития, инноваций и аэрокосмической промышленности РК (МЦРИАП) – формирует государственную политику в сфере цифровизации и связи.

- Комитет телекоммуникаций при МЦРИАП – координирует вопросы частотного регулирования, лицензирования и надзора за деятельностью операторов связи.

– Национальный центр радиочастот (НЦРЧ) – занимается планированием, распределением и использованием радиочастотного спектра, а также его мониторингом.

2. Правовой статус и использование NB-IoT

NB-IoT в Казахстане классифицируется как технология связи, работающая в лицензируемом спектре, поскольку использует частоты, уже выделенные под мобильные сети LTE. Внедрение NB-IoT осуществляется преимущественно существующими операторами сотовой связи (Beeline Kazakhstan, Kcell/Tele2, Kazakhtelecom), у которых уже есть лицензии на соответствующие диапазоны.

Таким образом:

– Дополнительного лицензирования NB-IoT не требуется, если оператор использует частоты в пределах действующей лицензии на LTE.

– Технология NB-IoT рассматривается как часть мобильной сети и подчиняется тем же требованиям по контролю, мониторингу, сертификации оборудования и обеспечению безопасности.

3. Частотные диапазоны для NB-IoT в Казахстане

Наиболее активно в Казахстане для NB-IoT используются следующие частотные диапазоны:

Таблица 3 – Частотные диапазоны для NB-IoT в Казахстане

Диапазон	Частоты uplink/downlink	Комментарий
Band 8 (900 МГц)	880–915/925–960 МГц	Используется в режиме Standalone или In-band
Band 3 (1800 МГц)	1710–1785/1805–1880 МГц	Используется в режиме In-band совместно с LTE
Band 20 (800 МГц)	832–862/791–821 МГц	Потенциально пригоден для сельской местности

NB-IoT может быть развёрнут в одном из трёх режимов:

- In-band — в рамках существующего LTE-канала;
 - Guard-band – в защитной полосе между LTE-несущими;
 - Standalone – на частотах, ранее использовавшихся под GSM.
- Использование частот под NB-IoT регулируется на основании:

- Плана распределения радиочастотного спектра РК;
- Лицензий, выданных операторам на определённые диапазоны;
- Решений НЦРЧ по частотному планированию.

4. Сертификация оборудования и устройств

Все устройства, используемые в NB-IoT (датчики, шлюзы, модемы), обязаны пройти:

- Сертификацию в области связи – подтверждение соответствия техническим требованиям (выполняется через Комитет телекоммуникаций);
- Сертификацию электромагнитной совместимости (ЭМС);
- Согласование в НЦРЧ при использовании радиопередатчиков, особенно если устройство работает в нестандартных режимах.

Кроме того, устройства, импортируемые в Казахстан, должны пройти таможенное декларирование с указанием соответствующих разрешений на использование радиочастот.

5. Кибербезопасность и защита данных

В соответствии с Законом РК «Об информации и защите информации», а также с правилами кибербезопасности, NB-IoT-сети должны обеспечивать:

- Шифрование данных на всех уровнях (например, через TLS или IPsec);
- Защиту идентификации абонентов и устройств;
- Хранение персональных данных в рамках законодательства РК;
- Возможность централизованного мониторинга и управления сетью IoT при критически важных внедрениях (ЖКХ, умные города и др.).

Также при использовании NB-IoT в государственном секторе могут потребоваться меры по локализации хранения данных и подключению к национальной инфраструктуре доверия.

6. Перспективы регулирования и цифровизации

Правительство Казахстана активно продвигает инициативы по цифровизации, включая проекты «Цифровой Казахстан», «Умный город» и модернизацию сельского хозяйства с использованием NB-IoT. В этом контексте NB-IoT рассматривается как ключевая технология, и можно выделить следующие перспективные направления:

- Упрощение процедур регистрации и сертификации IoT-устройств;
- Расширение частотных диапазонов, пригодных для IoT;
- Внедрение специальных режимов регулирования для маломощных сенсорных сетей (LPWAN);
- Ведение единого реестра IoT-решений и внедрение национальной IoT-платформы

Регуляторная среда в Казахстане в целом благоприятна для развития NB-IoT, особенно с учётом того, что крупные операторы уже обладают необходимыми

лицензиями на частоты и инфраструктуру. Правительственные инициативы в области цифровизации, прозрачная политика в сфере радиочастот и развитие стандартов сертификации способствуют ускоренному внедрению NB-IoT во всех секторах экономики – от «умного» ЖКХ до цифрового сельского хозяйства. В дальнейшем ожидается усиление нормативной базы с фокусом на безопасность, локализацию и расширение спектра

3.4 Вывод выбора технологии NB-IoT для мобильной сети

В третьей главе была рассмотрена комплексная оценка факторов, определяющих целесообразность и эффективность внедрения технологии NB-IoT в существующую инфраструктуру мобильной связи. Проведённый анализ показал, что выбор NB-IoT как базовой технологии для интернета вещей в сотовых сетях оправдан как с технической, так и с экономической точки зрения.

Во-первых, NB-IoT обладает высокой степенью совместимости с уже действующими сотовыми сетями 4G/LTE, что позволяет операторам внедрять её без необходимости масштабной модернизации оборудования. Использование существующих частотных диапазонов (особенно Band 8 и Band 3) позволяет эффективно перераспределять спектр, сохраняя инвестиции в инфраструктуру.

Во-вторых, технология поддерживается международными стандартами (3GPP), что гарантирует её долгосрочную жизнеспособность и возможность эволюции в рамках сетей пятого поколения (5G). Это делает NB-IoT стратегически важным направлением в развитии массовых IoT-сервисов – от систем "умного города" до цифрового агробизнеса.

Отдельное внимание было уделено регуляторным требованиям, которые играют ключевую роль при внедрении NB-IoT в разных странах, включая Республику Казахстан. Выявлено, что в условиях лицензируемого спектра NB-IoT обеспечивает высокую устойчивость к помехам и юридическую защиту, но требует соблюдения строгих процедур сертификации, регистрации оборудования и кибербезопасности.

В итоге, очевидно, что NB-IoT – это превосходный выбор для развёртывания IoT, отличающийся масштабируемостью, экономией энергии и высокой степенью надёжности, при этом интегрируемый в существующие сотовые сети. Интеграция этой технологии в мобильную инфраструктуру закладывает крепкий фундамент для цифровых преобразований в различных секторах экономики и обеспечивает стабильное развитие телекоммуникационных сетей страны.

4 Расчёт параметров сети NB-IoT

4.1 Расчёт зоны покрытия

Потери на трассе (ослабление сигнала) между передатчиком и приёмником не должны превышать некоторого порогового значения. Этот максимум рассчитывается как разница между мощностью передатчика (с учётом усиления антенны) и чувствительностью приёмника.

Формула:

$$L_{max} = P_t + G_t + G_r - L - P_{min} \quad (1)$$

Подставляем значения:

$$L_{max} = 43 + 14 + 0 - 2 - (-129) = 184 \text{ дБ}$$

Это значение показывает: если сигнал ослабнет более чем на 184 дБ, устройство уже не сможет "услышать" базовую станцию.

Для оценки потерь на трассе используется модель Окума-Хата — одна из самых надёжных и популярных моделей в телекоммуникациях. Модель Окума-Хата (Okumura-Nata model) — это эмпирическая радиопропагационная модель, используемая для оценки затухания радиосигнала в городской, пригородной и сельской местности. Она основана на экспериментальных измерениях, проведённых Ё. Окумурой в Японии и математически обобщена Хатой. Это одна из самых популярных моделей для планирования радиосетей в диапазоне от 150 до 1500 МГц (позже расширено до 2000 МГц). Она учитывает: частоту, высоту антенн, среду распространения (город, село), расстояние

Подготовка параметров для модели Окума-Хата

Основная формула:

$$L_p = 69.55 + 26.16 \cdot \log_{10}(f) - 13.82 \cdot \log_{10}(ht) - a(hr) + (44.9 - 6.55 \cdot \log_{10}(ht)) \cdot \log_{10}(d) \quad (2)$$

Вычисление поправки $a(h_r)$

Для сельской местности:

$$a(hr) = (1.1 \cdot \log_{10}(f) - 0.7) \cdot hr - (1.56 \cdot \log_{10}(f) - 0.8) \quad (3)$$

Вычисляем:

$$\log_{10}(900) \approx 2.95$$

Подставим:

$$a(h_r) = (1.1 \cdot 2.95 - 0.7) \cdot 1.5 - (1.56 \cdot 2.95 - 0.8) \\ a(h_r) = (3.245 - 0.7) \cdot 1.5 - (4.602 - 0.8) \approx 3.5475 - 3.802 = -0.2545$$

Подстановка значений в модель (для сельской местности)

$$L_p = 69.55 + 26.16 \cdot 2.95 - 13.82 \cdot 1.477 + 0.2545 + (44.9 - 6.55 \cdot 1.477) \cdot \log_{10}(d) \quad (4)$$

Вычислим по шагам:

$$26.16 \cdot 2.95 \approx 77.172616 \\ 13.82 \cdot 1.477 \approx 20.411382 \\ 6.55 \cdot 1.477 \approx 9.67655$$

Формула превращается в вид:

$$L_p = 69.55 + 77.17 - 20.41 + 0.2545 + (44.9 - 9.67) \cdot \log_{10}(d) \quad (5) \\ L_p = 126.56 + 35.23 \cdot \log_{10}(d)$$

Решение уравнения для расстояния

Мы знаем, что $L_{max} = 184$. Тогда:

$$184 = 126.56 + 35.23 \cdot \log_{10}(d) \Rightarrow \log_{10}(d) = \frac{35.23184 - 126.56}{35.23} \approx 1.63 \Rightarrow d = 10^{1.63} \approx 42.7 \text{ км}$$

То есть радиус покрытия NB-IoT в сельской местности ≈ 42.7 км

Далее таким же методом вычислим для городской среды

Для города поправка $a(h_r) \approx 3$ дБ, потому что сигналы отражаются от зданий.

Формула будет:

$$L_p = 69.55 + 77.17 - 20.41 - 3 + 35.23 \cdot \log_{10}(d) = \\ = 123.31 + 35.23 \cdot \log_{10}(d) \quad (6)$$

Подставляем наши значения и получаем:

$$184 = 123.31 + 35.23 \cdot \log_{10}(d) \Rightarrow \log_{10}(d) = \frac{35.236069}{35.23} \approx 1.72 \Rightarrow d = 10^{1.72} \approx 52.5 \text{ км}$$

В городе плотная застройка, сильное экранирование, поэтому реальная дальность может снижаться до 1–10 км.

Детальный расчёт показывает, что технология NB-IoT способна покрывать десятки километров в сельской местности и несколько километров в городе. Это делает её очень экономичной и эффективной для Интернета вещей, особенно там, где необходима связь с большим числом устройств на большой территории.

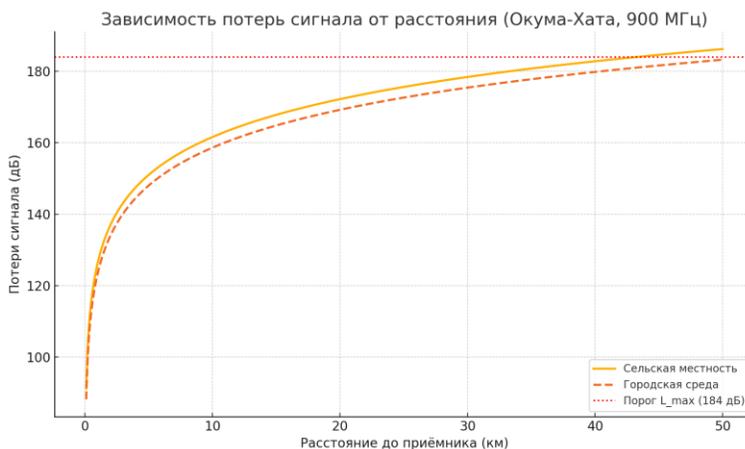


Рисунок 10 – Зависимость потерь сигнала от расстояния (Окума-Хата, 900 МГц)

Представлен график, который показывает, как меняются потери сигнала NB-IoT (по модели Окума-Хата) в зависимости от расстояния:

Синяя линия – для сельской местности.

Оранжевая линия – для городской среды.

Красная пунктирная линия – порог допустимых потерь (184 дБ), после которого устройство теряет связь.

Как видно, в сельской местности сигнал достигает порога на расстоянии ~42 км, а в городе – значительно раньше (~10 км).

4.2 Количество подключаемых устройств

Для NB-IoT количество подключаемых устройств – ключевое преимущество.

Теоретические возможности:

NB-IoT проектировался для массовых подключений, поэтому:

Одна базовая станция NB-IoT может обслуживать до 50 000 устройств на 1 сектор;

В некоторых сценариях (особенно в малонаселённых зонах) это число может быть даже выше – до 100 000 устройств, при уменьшении активности устройств и увеличении интервалов передачи.

В качестве примера возьмем развёртывание в городе

Допустим, в городе установлена NB-IoT базовая станция с радиусом покрытия 5 км. Тогда площадь её покрытия:

$$S = \pi \cdot R^2 = 3.14 \cdot 5^2 = 78.5 \text{ км}^2$$

Если на этом участке до 50 000 устройств, то плотность:

$$50000/78.5 \approx 637 \text{ устройств на км}^2$$

Это делает NB-IoT идеальным для таких сценариев, как:

– Умные счётчики воды, газа, электричества

– Датчики парковки, шума, загрязнения

– Метеостанции и мониторинг в сельском хозяйстве
NB-IoT обеспечивает высочайшую плотность подключений среди LPWAN-технологий. Это делает её особенно актуальной для национальных и городских IoT-платформ, ЖКХ, мониторинга инфраструктуры и сельского хозяйства, где требуется подключать десятки тысяч устройств на одной базе

4.3 Энергопотребление и параметры радиосети

NB-IoT был разработан с приоритетом на энергоэффективность, особенно для устройств, работающих от батареек в течение многих лет.

Таблица 4 – Ключевые технологии энергосбережения

Технология	Назначение	Эффект
PSM (Power Saving Mode)	Устройство "засыпает" между передачами и не поддерживает постоянное соединение с сетью	Энергопотребление в спящем режиме < 5 мкА
eDRX (extended Discontinuous Reception)	Устройство просыпается по расписанию, чтобы проверить наличие входящих сообщений	Увеличивает интервал активности до минут и часов

Продолжение таблицы 4

Оптимизация обмена	сигнального	Минимизация количества служебных сообщений в радиообмене	Уменьшает энергозатраты на инициализацию
-----------------------	-------------	--	---

Практические показатели:

- Срок службы батареи: до 10 лет на литиевой батарее ёмкостью 5–10 А·ч;
- Потребление в спящем режиме: < 5–10 μ А;
- Потребление при передаче:
 - до 250 мА при пиковом сигнале,
 - передача коротких пакетов 1–2 раза в сутки = менее 1% суточного потребления.

Это позволяет устанавливать NB-IoT-сенсоры в труднодоступных местах (например, под землёй или в водомерных колодцах), где невозможна частая замена батарей.

Таблица 5 – Основные параметры радиосети NB-IoT

Параметр	Значение	Комментарий
Ширина полосы частот	180–200 кГц	Совместимо с каналом GSM
Частотные диапазоны	700, 800, 900, 1800, 2100 МГц	В Казахстане предпочтительно 800/900 МГц
Скорость передачи данных	до 250 кбит/с (в дуплексе)	В UL (uplink) и DL (downlink)
Максимальная дальность связи	до 10 км в городе, до 45 км в селе	Зависит от высоты антенны и препятствий
Макс. число устройств на соту	до 50 000	При минимальной нагрузке на каждое устройство
Мощность передачи	20 дБм (100 мВт) или 23 дБм (200 мВт)	Настраивается на устройстве
Тип модуляции	QPSK (с низкой спектральной плотностью)	Повышает устойчивость к помехам

Сценарии подключения:

– NB-IoT может разворачиваться:

- внутри полосы (in-band): совместно с LTE;

- в защитной полосе (guard band);

- в автономной полосе (standalone): например, на месте освободившихся GSM-частот.

Энергопотребление и покрытие: компромисс

NB-IoT использует стратегию: энергия ↔ надёжность связи. Для передачи на дальние расстояния используются:

а) многократные повторные передачи (retransmissions);

б) адаптивное управление мощностью;

с) кодирование с высокой избыточностью.

Это увеличивает надёжность, но также увеличивает энергопотребление, если устройство расположено далеко от базовой станции.

NB-IoT обеспечивает оптимальный баланс между энергоэффективностью, дальностью связи и массовыми подключениями. Благодаря таким функциям, как PSM и eDRX, устройства могут функционировать до 10 лет от батареи, оставаясь при этом надёжно связанными с сетью даже на больших расстояниях. Эти параметры делают NB-IoT незаменимой технологией для массового Интернета вещей в таких отраслях, как ЖКХ, агротехнологии и умные города.

4.4 Пропускная способность канала NB-IoT

Для расчёта пропускной способности канала NB-IoT, нужно учитывать характеристики технологии и определения пропускной способности:

Пропускная способность можно рассчитать по формуле Шеннона, но в NB-IoT используется узкополосный режим и сильно оптимизированная модуляция (BPSK, QPSK), поэтому разумнее опираться на практические параметры, указанные в спецификациях 3GPP.

Фактическая пропускная способность одного канала NB-IoT:

– Ширина канала: 180 кГц (фактическая – из 3GPP, в 200 кГц включаются защитные интервалы)

– Максимальная скорость передачи данных (DL или UL):

Downlink (D_L): до ~250 кбит/с

Uplink (U_L): до ~20–60 кбит/с (в зависимости от режима, модуляции, повторов)

– Одновременно поддерживается множество устройств, но каждое работает в отдельные временные окна.

Если рассматривать теоретическую пиковую пропускную способность одного канала 200 кГц, то она ограничена примерно:

Максимум $D_L \approx 250$ кбит/с, $U_L \approx 60$ кбит/с

Если учесть всю соту, обслуживающую до 50,000 устройств, то реальная средняя скорость на одно устройство:

Средняя скорость на 1 устройство= 250 кбит/с $50,000=0,005$ кбит/с= 5 бит/с

Но в NB-IoT устройства не работают одновременно, они передают данные в определённые временные интервалы (например, раз в час), что делает такой подход эффективным.

Таблица 6 – Параметры канала

Параметр	Значение
Ширина канала	200 кГц (эффективно 180 кГц)
Пиковая скорость DL	до 250 кбит/с
Пиковая скорость UL	до 60 кбит/с
Тип модуляции	BPSK, QPSK
Число одновременно подключённых устройств	до 50,000
Средняя скорость на устройство (при равномерной загрузке)	несколько бит/с

Пропускная способность одного канала NB-IoT шириной 200 кГц составляет до 250 кбит/с в нисходящем направлении и до 60 кбит/с в восходящем. Однако из-за специфики узкополосной архитектуры и планирования доступа, реальная пропускная способность на устройство составляет лишь несколько бит в секунду, чего достаточно для большинства IoT-приложений (например, передачи телеметрии раз в несколько минут или часов).

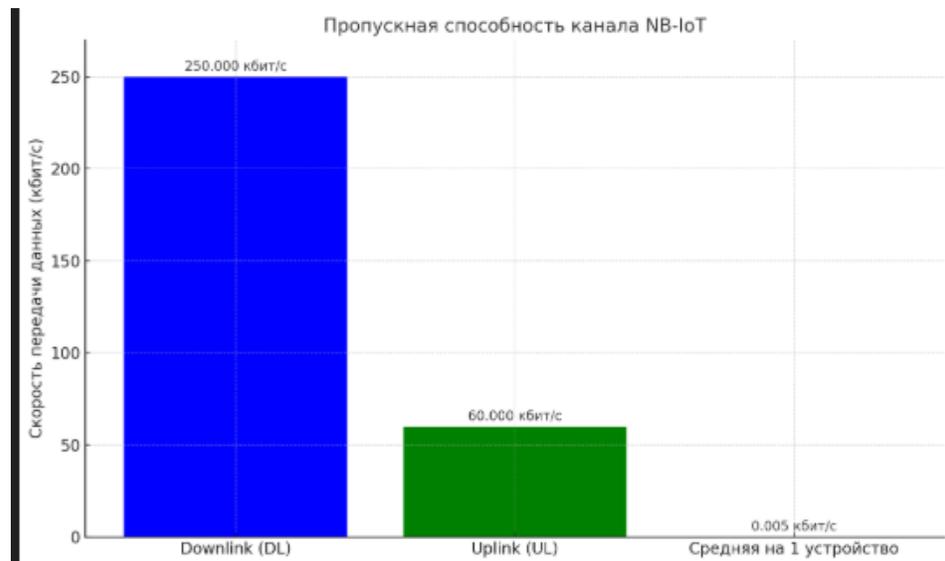


Рисунок 11 – График пропускной способности NB-IoT в нисходящем и восходящем направлениях, а также усреднённую скорость на одно устройство при подключении 50,000 устройств

4.5 Выводы по расчетам параметров сети NB-IoT

В ходе рассмотрения энергетических и радиотехнических характеристик технологии NB-IoT была подтверждена её высокая эффективность для задач массового интернета вещей (Massive IoT), требующего устойчивой связи, длительного времени автономной работы устройств и высокой плотности подключений.

Технология NB-IoT, основанная на узкополосной передаче в диапазоне 180–200 кГц, демонстрирует уверенное покрытие на расстояниях до 10 км в городской и до 40–45 км в сельской местности. Такая дальность достигается благодаря использованию диапазонов с хорошими проникающими свойствами (700–900 МГц), высокому энергетическому потенциалу передатчиков (до 23 дБм) и чувствительности приёмников (до -135...-140 дБм).

Одним из ключевых преимуществ NB-IoT является её энергоэффективность. Благодаря внедрению режимов Power Saving Mode (PSM) и extended Discontinuous Reception (eDRX), устройства могут оставаться в спящем режиме большую часть времени и активироваться только по расписанию. Это обеспечивает возможность автономной работы устройств до 10 лет даже при использовании недорогих литиевых батарей. Подобный уровень автономности открывает широкие перспективы для развёртывания NB-IoT в таких сферах, как ЖКХ, сельское хозяйство, логистика и мониторинг окружающей среды.

Также было показано, что NB-IoT предлагает исключительную масштабируемость: одна базовая станция способна обслуживать до 50 000 устройств одновременно, что делает технологию идеальной для развертывания на уровне целых городов или промышленных комплексов. Эта характеристика вкуче с низкой стоимостью абонентских устройств и доступностью в сетях операторов позволяет значительно снизить порог входа для различных IoT-проектов.

Таким образом, NB-IoT представляет собой оптимальное решение для реализации энергоэффективных и масштабируемых беспроводных сетей, обладающее сбалансированным сочетанием технологических, экономических и эксплуатационных преимуществ. Эти особенности определяют стратегическую значимость данной технологии в процессе цифровизации инфраструктур, особенно в условиях стремительного развития концепции «умных» городов и промышленного интернета вещей (IIoT).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие технологий Интернета вещей (IoT) является ключевым направлением цифровой трансформации экономики, городской инфраструктуры, промышленности и сельского хозяйства. Современный мир стремительно движется к глобальной взаимосвязанности, где миллионы устройств должны обмениваться данными надёжно, экономично и автономно. В условиях массового внедрения таких решений важнейшую роль играют технологии связи стандарта LPWAN (Low Power Wide Area Networks), среди которых NB-IoT выделяется как наиболее перспективная и универсальная.

В рамках настоящей дипломной работы была проведена всесторонняя оценка технологии Narrowband IoT (NB-IoT) как средства построения энергоэффективных, масштабируемых и надёжных беспроводных сетей, функционирующих в рамках существующей мобильной инфраструктуры.

В первой главе рассмотрены теоретические основы беспроводных сенсорных сетей и технологии LPWAN. Был проведён сравнительный анализ NB-IoT с другими популярными технологиями – LoRaWAN и Sigfox. На его основе выявлено, что NB-IoT обеспечивает наиболее сбалансированное сочетание параметров: высокой ёмкости сети, надёжности связи, покрытия и безопасности при использовании лицензируемого спектра и возможности интеграции в существующую LTE-сеть.

Во второй главе подробно проанализированы принципы архитектуры NB-IoT, включая распределение на узлы пользовательского и сетевого уровней, поддерживаемые интерфейсы и возможности оптимизации передачи данных. Рассмотрены ключевые сценарии применения NB-IoT: в умных городах (Smart City), системах ЖКХ, агротехе, логистике и мониторинге окружающей среды. Показано, что внедрение NB-IoT способно радикально повысить эффективность процессов сбора данных, автоматизации и удалённого управления объектами инфраструктуры.

Третья глава была посвящена вопросам интеграции NB-IoT в существующую мобильную сеть. Были рассмотрены архитектурные особенности совместимости с LTE и 5G, частотные диапазоны и регуляторные требования, включая положения, действующие на территории Республики Казахстан. Отдельное внимание уделено аргументации выбора именно NB-IoT как наиболее зрелой и стандартизированной технологии для национального внедрения решений в сфере умной инфраструктуры.

В четвёртой главе произведён расчёт зоны покрытия NB-IoT по модели Окума-Хата, проанализированы особенности распространения сигнала в городской и сельской среде. Показано, что NB-IoT способен обеспечивать надёжную связь на расстояниях до 40–45 км в сельской местности и до 10–15 км в городской застройке. Также были рассмотрены параметры энергопотребления, что

критически важно для построения автономных сенсорных сетей. Использование режимов PSM и eDRX позволяет устройствам работать более 10 лет от батареи, а низкое энергопотребление делает возможным массовое развёртывание IoT-систем в труднодоступных местах.

Таким образом, технология NB-IoT обладает рядом стратегических преимуществ, среди которых:

- Поддержка массовых подключений (до 50 000 устройств на соту);
- Обеспечение широкого радиуса покрытия;
- Низкое энергопотребление устройств;
- Высокая надёжность передачи данных;
- Использование существующей инфраструктуры операторов мобильной связи;
- Соответствие международным и национальным стандартам.

Выводы, сделанные в ходе работы, позволяют утверждать, что NB-IoT является технологическим фундаментом для построения национальных сетей Интернета вещей. Её внедрение обеспечит устойчивое развитие цифровой инфраструктуры, автоматизацию важнейших отраслей и повышение качества жизни населения. Внедрение NB-IoT станет основой для развития концепций «умного города», цифрового сельского хозяйства, удалённого мониторинга экосистем и других ключевых направлений цифровой экономики.

Перспективы дальнейшего исследования заключаются в моделировании NB-IoT-сетей с учётом реальной топографии, климатических условий и плотности устройств в конкретных локациях, а также в анализе экономической эффективности внедрения NB-IoT по сравнению с альтернативными технологиями связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 3GPP. TS 36.321: Medium Access Control (MAC) protocol specification. V16.0.0. 2020.
2. 3GPP. TS 36.331: Radio Resource Control (RRC) protocol specification. V16.0.0. 2020.
3. Ким В. А. LPWAN: технологии, архитектура и применение. – Москва: Техносфера, 2021. – 272 с.
4. Raza U., Kulkarni P., Sooriyabandara M. Low Power Wide Area Networks: An Overview // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2017. – Vol. 19, No. 2. – P. 855–873.
5. Centenaro M., Vangelista L., Zanella A., Zorzi M. Long-Range Communications in Unlicensed Bands: The Rising Stars in the IoT and Smart City Scenarios // IEEE Wireless Communications. – 2016. – Vol. 23, No. 5. – P. 60–67.
6. Mekki K., Bajic E., Chaxel F., Meyer F. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment // ICT Express. – 2019. – Vol. 5, No. 1. – P. 1–7.
7. Huawei Technologies. NB-IoT Solution White Paper. – Huawei, 2017. – 42 p.
8. Qualcomm. Narrowband IoT: Making the most of LTE for IoT. – White Paper. – 2016. – 36 p.
9. Ericsson. NB-IoT deployment guide. – Technical Report. – 2018.
10. ITU-T. Recommendation Y.4480 (12/2020). Overview of Narrowband Internet of Things and its key capabilities.
11. ETSI. TR 103 585 V1.1.1 (2019-01). Low Power Wide Area (LPWA) Network Use Cases for Internet of Things (IoT).
12. Министерство цифрового развития, инноваций и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан. Требования к использованию радиочастотного спектра для LPWAN-сетей. – Нур-Султан, 2022.
13. Cisco. The Internet of Things Reference Model. – Cisco White Paper, 2019.
14. Исмагулов А. К., Тлеубаев Е. Б. Внедрение LPWAN-технологий в Казахстане: состояние и перспективы // Вестник НИЦ цифровых технологий. – 2021. – № 2. – С. 45–52.
15. Дуйсенова Л. А., Кожаметов Е. Т. NB-IoT в системе "умного города": архитектура, возможности, примеры // Труды международной конференции «Цифровизация и инновации – путь к устойчивому развитию». – Алматы, 2022. – С. 103–108.

ОТЗЫВ

НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

На дипломную работу

Дмитриенко Алина Владиславовна

6B06201-Телекоммуникация

Тема: «Внедрение технологию узкополосного интернета вещей (NB-IoT) в сети мобильной связи»

Данная дипломная работа является актуальной в технологии NB-IoT (Narrowband Internet of Things). NB-IoT является одной из ключевых технологий для развития интернета вещей, особенно в контексте построения умных городов.

В процессе работы студент проявил умение грамотно формулировать цели и задачи исследования, использовать современную научную литературу и нормативную документацию, а также применять полученные знания на практике. Работа логично структурирована, содержит необходимые теоретические положения, аналитическую часть и обоснованные практические рекомендации.

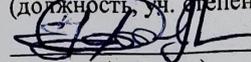
В технической части была рассмотрена реализация схемы внедрения технологии NB-IoT в сети мобильной связи, а так же выбраны оборудования технологии интернета вещей.

Практическая часть работы включает: расчёт зоны покрытия сети NB-IoT, моделирование пропускной способности канала NB-IoT, количество подключаемых устройств для NB-IoT. Это свидетельствует о хорошем понимании студентом как теоретических аспектов, так и практических задач отрасли связи.

Работа выполнена на высоком уровне, соответствует требованиям, предъявляемым к ДР, и заслуживает оценки «хорошо» 85 /B+/, а студент, Дмитриенко Алина, заслуживает получения академической степени бакалавра информационных и коммуникационных технологий по образовательной программе 6B06201-«Телекоммуникация».

Научный руководитель

Старший преподаватель кафедры ЭТиКТ
(должность, уч. степень, звание)


(подпись) Джунусов Н.А.

«29» мая 2025 г.



РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу

Дмитрисенко Алина Владиславовна

6B06201 – Телекоммуникация

Тема: «Внедрение технологии узкополосного интернета вещей (NB-IoT) в сети мобильной связи»

Выполнено:

- а) разделов в дипломе: 4
- б) страниц в дипломе: 46

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

В работе студента рассматривается внедрение технологии узкополосного интернета вещей (NB-IoT) в сети мобильной связи

В первой главе выполнен подробный анализ сетей беспроводной связи LPWAN, а также рассмотрены стандарты сетей NB-IoT, LoRaWAN, Sigfox.

Во второй главе описана реализация сценариев внедрения NB-IoT в сети мобильной связи, разобрана архитектура NB-IoT, а так же приведены примеры применения NB-IoT: «Умный город», жилищно-коммунальное хозяйство и сельское хозяйство

В третьей главе описан выбор технологии NB-IoT для мобильной сети. Студент аргументировал выбор данной технологии, разобрал совместимость NB-IoT с существующей инфраструктурой.

В четвертой главе был проведен расчёт параметров сети NB-IoT: расчет зоны покрытия, энергопотребление и пропускная способность канала. Все вычисления описаны формулами и представлены в графиках.

Оценка работы

Студент демонстрирует высокий уровень подготовки, хорошее знание как теоретического материала, так и практических аспектов реализации систем мониторинга. Дипломная работа выполнена в соответствии с техническим заданием, отличается логичностью изложения и научной обоснованностью.

Дипломная работа оценена на отлично (А, 90%), а студент Дмитриенко Алина Владиславовна рекомендована к присвоению академической степени бакалавра информационных и коммуникационных технологий по образовательной программе 6B06201 «Телекоммуникация».

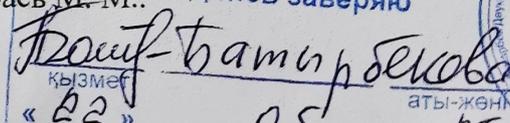
Рецензент

к.т.н., PhD, доцент Алматинского университета
энергетики и связи имени Г.Даукеева


"22" 05 2025 г.

Ермекбаев М. М.

Колтаңбаны растаймын
Подпись заверяю


«22» 05 2025 ж.



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Дмитриенко Алина Владиславовна

Тақырыбы: Внедрение технологии узкополосного интернета вещей (NB-IoT) в сети мобильной связи

Жетекшісі: Нуридин Джунусов

1-ұқсастық коэффициенті (30): 4.9

2-ұқсастық коэффициенті (5): 1.5

Дәйексөз (35): 0.8

Әріптерді ауыстыру: 1

Аралықтар: 1

Шағын кеңістіктер: 29

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

2025-05-20

Күні



Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Дмитриенко Алина Владиславовна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Внедрение технологии узкополосного интернета вещей (NB-IoT) в сети мобильной связи

Научный руководитель: Нуридин Джунусов

Коэффициент Подобия 1: 4.9

Коэффициент Подобия 2: 1.5

Микропробелы: 29

Знаки из других алфавитов: 1

Интервалы: 1

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

2025-05-20

Дата



Заведующий кафедрой



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Дмитриенко Алина Владиславовна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Внедрение технологии узкополосного интернета вещей (NB-IoT) в сети мобильной связи

Научный руководитель: Нуридин Джунусов

Коэффициент Подобия 1: 4.9

Коэффициент Подобия 2: 1.5

Микропробелы: 29

Знаки из здругих алфавитов: 1

Интервалы: 1

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

2025-05-20

Дата



Сүңғат Марксұлы

проверяющий эксперт