

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 654.16

Смоляк Сергей Владимирович

**МЕТОДИКА АНАЛИЗА РАБОТЫ СЕТЕЙ УЗКОПОЛОСНОГО  
ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ NB-IOT В УСЛОВИЯХ  
ПОМЕХ И ПРОМЫШЛЕННОГО РАДИОШУМА**

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра  
по специальности 1–45 80 01 «Системы и сети инфокоммуникаций»

---

Научный руководитель  
Астровский Иван Иванович  
Кандидат технических наук, доцент

---

## ВВЕДЕНИЕ

Мобильные устройства, работающие на сетях GSM, 3G, LTE, 5G-NR предназначены для реализации спектра услуг, включая мобильную голосовую связь, обмен сообщениями и передачу данных с высокой скоростью. Однако существует большой класс M2M- и IoT-приложений, не требующих поддержки этих функций, – необходима всего лишь низкоскоростная, но надежная передача данных.

Сотовые сети обеспечивают достаточно широкую зону покрытия в развитых регионах, но от терминального устройства часто требуется работа на высокой мощности, что сокращает срок службы батарей. Сотовые сети не оптимизированы для решений, требующих передачи время от времени небольших объемов данных.

По мере роста рынка становится очевидным, что для многих вариантов использования таких решений существующие сотовые технологии недостаточны в силу высокой стоимости оконечных устройств и малого срока службы их элементов питания.

Потенциал рынка IoT-решений, требующих низкоскоростного подключения дешевых датчиков малой мощности, намного больше рынка устройств, требующих высокоскоростных подключений и относительно высокого энергопотребления.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

*Актуальность исследований.* Сети узкополосного интернета вещей NB-IoT представляют собой активно развивающиеся новые системы с ещё не до конца изученными особенностями поведения. Поэтому проведение исследований, нацеленных на оптимизацию планирования и эксплуатации таких сетей, является актуальной темой.

*Связь работы с крупными научными программами и темами.* Диссертационное исследование связано и выполнено в рамках НИР Новые технологии информационного менеджмента и электронного маркетинга № Гос. регистрации 20162075 от 03.06.2016.

*Цели и задачи исследования.* Целью диссертационной работы являлось определение максимально возможного затухания в канале «вверх» с учетом реальных уровней промышленных шумов и внутри- и межсистемных помех для дальнейшего планирования сети узкополосного доступа «Интернета вещей» стандарта NB-IoT на территории Республики Беларусь. Для достижения цели решались следующие задачи:

1. Анализ узких мест в технологии радиодоступа NB-IoT.

2. Анализ статистических данных описывающих производительность сети радиодоступа NB-IoT.

Предметом исследования является сеть узкополосного интернета вещей с технологией радиодоступа NB-IoT. Объектом исследования являются мешающие факторы.

*Основные положения исследования, выносимые на защиту:*

1. Анализ узких мест в технологии радиодоступа NB-IoT.
2. Анализ статистических данных описывающих производительность сети радиодоступа NB-IoT.

*Апробация результатов исследования.* Основные положения диссертационной работы и отдельные ее разделы докладывались и обсуждались на научно-технической конференции и семинаре кафедры, использовались при планировании сети оператора А1.

*Опубликованность результатов.* По результатам выполненных исследований опубликованы 3 научные работы: статьи в сборниках материалов международного научно-технического семинара БГУИР.

*Структура и объем диссертации.* Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, двух глав с выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка.

Общий объем диссертационной работы составляет 83 страницы, из них 80 страниц текста, 47 рисунков на 39 страницах, 7 таблиц на 8 страницах, библиографический список из 19 источников на 3 страницах, включая 3 собственных публикаций автора.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

В первой главе описан сравнительно новый класс технологий беспроводного доступа большого радиуса действия, оптимизированный исключительно под задачи M2M/MTC коммуникаций, был описан в Release 13 3GPP, в 2015 году. В нем были окончательно зафиксированы требования к терминалам, их функциональные режимы, описаны упрощенные методы доставки малых сообщений (IP, IP через NAS, не-IP), введены новые службы, необходимые для маршрутизации сообщений для терминалов без выделения IP адреса, либо доставка IP пакетов в сообщениях NAS.

Вторая глава. В ходе проведения эксперимента были экспортированы, сохранены на жесткий диск ПК, и статистически обработаны два блока исходных данных. Первый блок объемом 971571 запись содержал статистические данные по каждой из поднесущих для каждой соты из области интереса, с усреднением на интервале 15 минут за период с 00:00 24 мая по 23:24 30 мая 2021 года. Второй блок содержал данные агрегированные на основе суточного усреднения для оценки

долговременных изменений. После выгрузки исходные данные содержащие 15 минутные интервалы в целях уменьшения требований к объему памяти ПК и ускорению работы ПО были разделены на 3 отдельных файла, содержащие отдельно данные для сот г. Минска, сот Минской области, и все остальные соты. Анализ проводился параллельно и однотипно по каждому из файлов.

Статистическая обработка велась с применением ПО Excel с установленным дополнительным расширением «Пакет анализа», а также с помощью пакета Curve Fitting Toolbox в среде MATLAB.

План анализа состоял из нескольких пунктов:

- Проверить исходные данные на корректность и аномалии;
- Исключить аномальные значения из анализа;
- Получить и изучить график распределения среднего значения по времени суток, дням недели;
- Получить и изучить распределение плотности вероятности значений шума;
- Провести анализ аномальных значений, отброшенных ранее.
- Получить аналитическое выражение плотности вероятности значений шума;

Из полученного ряда распределения плотности вероятности значений шума непосредственно уже можно получить два необходимых значения: медианное значение мощности шума, когда суммы коэффициентов слева и справа равны, и пороговое значение мощности шума, вероятность наступления события которого составляет не более 2%. Значение выбрано исходя из требований СТБ-1904-2011 к сети пакетной передачи данных, коэффициент доступности сети должен составлять не менее 98%. Для Минской области пороговое значение составляет -125,75 дБм. Медианное значение сумм мощностей шума приемника и внешнего шума в полосе 15 кГц составляет 129,25 дБм, что идентично с расчетным значения для приемника с  $NF=3$  дБ. Однако для практических расчетов коммерческой сети следует ориентироваться на пороговое значение  $\leq 98\%$ , поскольку оно будет определять процент доступности сети передачи данных, и при расчете радиусов сот и плотности размещения БС использовать это значение, преобразовав его в коэффициент превышения мощности шума над тепловым, и подставляя его в формулу расчета максимального допустимого затухания вместо суммы значений  $NF + \text{interferer margin}$ . В данном случае экспериментально полученное значение для Минской области составляет 6.5 дБ. Так же в расчетах максимально допустимых потерь распространения и, соответственно, радиусов сот, которые рассматривались выше, для достижения коэффициентов доступности сети, заложенных в СТБ-1904, следует применять коэффициенты для расчета 99% вероятности установления связи на границе соты.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повышенные значения уровня шума на входах приемников в течение значительных промежутков времени, измеряемые часами и сутками будут оказывать влияние на доступность сети передачи. Рост шума до 25 дБ в соте практически схлопывает полезный радиус соты до нескольких сотен метров на открытой местности и делает невозможным работу более удаленных устройств. Учитывая, что эти соты находятся в сельской местности, и имеют расчетную площадь покрытия, измеряемую десятками км<sup>2</sup>, можно утверждать что при дальнейшем массовом проникновении технологии NB-IoT в таких ситуациях работа большого количества устройств будет заблокирована на длительные промежутки времени, если не заниматься изучением причин и факторов, оказывающих подобное влияние на приемный тракт БС.

### Публикации автора

1 АКСЕНОВ В.А., СМОЛЯК С.В., ХОМЕНОК М.Ю. Вертикальная секторизация для совместной работы узкополосного интернета вещей и мобильных сервисов 3G. Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных = Telecommunications: Networks and Technologies, Algebraic Coding and Data Security: материалы междунар. науч.-техн. семинара (Республика Беларусь, Минск, ноябрь – декабрь 2019 г.).– Минск : БГУИР, 2019. – 128 с.: ил. ISBN 978-985-543-553-3. Стр. 43-48.

2 АКСЕНОВ В.А., СМОЛЯК С.В., ХОМЕНОК М.Ю. Влияние промышленного радишума на радиус соты с технологией узкополосного интернета вещей. Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных = Telecommunications: Networks and Technologies, Algebraic Coding and Data Security: материалы междунар. науч.-техн. семинара (Республика Беларусь, Минск, ноябрь – декабрь 2020 г.).– Минск : БГУИР, 2019. – 128 с.: ил. ISBN 978-985-543-553-3. Стр. 43-48.

3 АКСЕНОВ В.А., СМОЛЯК С.В. Прогнозирование экстремального всплеска в сигнале с OFDM. Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных = Telecommunications: Networks and Technologies, Algebraic Coding and Data Security: материалы междунар. науч.-техн. семинара (Республика Беларусь, Минск, апрель – май 2021 г.).– Минск : БГУИР, 2019. – 128 с.: ил. ISBN 978-985-543-553-3. Стр. 43-48.