

# Исследование условий применимости приемопередатчиков

## стандарта Nanonet в беспроводных сетях датчиков

Евгений Жиганов  
Сергей Красков  
Алексей Мошевкин  
alexsmou@lab127.karelia.ru

Окончание. Начало в № 1 '2007

### Описание экспериментов

Основная масса экспериментов была выполнена в конфигурации, приведенной на рис. 12. После включения питания и инициализации регистров и других внутренних структур модули приемопередатчиков, изображенные слева (в разных экспериментах одновременно участвовало от 1 до 6 модулей), включались в режиме «мастер». Все они находились в пределах «слышимости» друг друга, поэтому в условиях отсутствия узла-арбитра можно было предполагать, что полоса пропускания будет делиться ими поровну. Встроенное программное обеспечение узлов-мастеров обеспечивало генерацию постоянного трафика к узлу-слейву, который после инициализации включался в режим прослушивания и ответа на принятые пакеты.

Количество успешно отправленных (с подтверждением о принятии) узлом-мастером пакетов за 10 с фиксировалось и отсылалось на узел-анализатор, не изображенный на рис. 12. Длина каждого пакета равнялась 128 байтам. В работе [10] показано, что максимально возможное количество переданных пакетов такой длины для изолированной пары «мастер – слейв» равно 656 пак./с при битовой

скорости передачи 1 Мбит/с и 1232 пак./с при битовой скорости 2 Мбит/с.

Во всех экспериментах, описанных ниже, использовался режим работы трансиверов с битовой скоростью 1 Мбит/с. Авторы не ставили целью экспериментов создать оптимизированный программный код и достичь максимальной пропускной способности, вследствие чего каждый из узлов-мастеров за 10 с передавал около 2000 пакетов, в случае неудачи передачи предпринимая очередную попытку. При этом успешно переданным считался пакет, переданный с первой, второй или третьей попытки. Если на пакет, переданный в третью попытку, не приходило подтверждение о его приеме, такой пакет считался не доставленным. Чем чаще случались повторы (например, вследствие помех в какой-то момент времени или излишней удаленности узла-слейва), тем меньше была скорость передачи пакетов.

На рис. 13 приведена карта-схема места измерений (изображение получено с использованием бесплатного сервиса Google Earth).

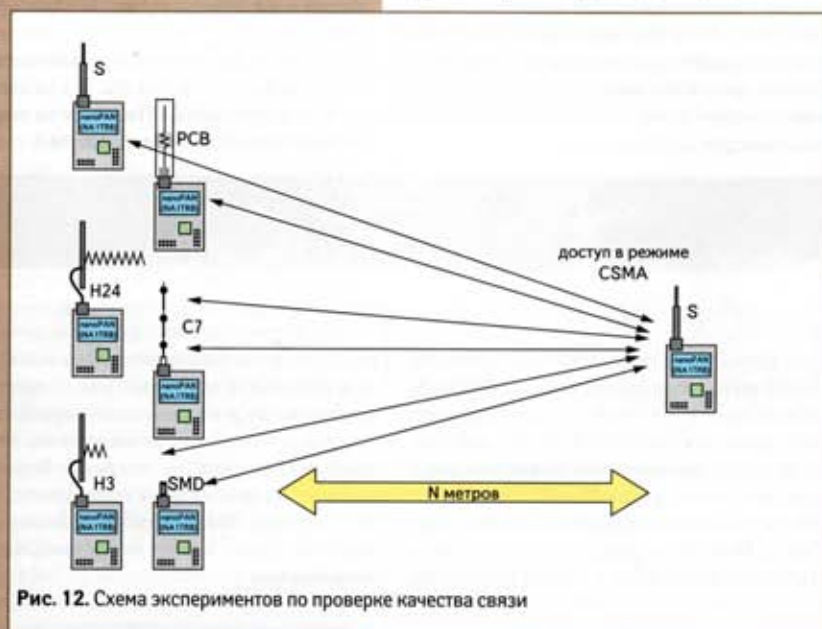


Рис. 12. Схема экспериментов по проверке качества связи



Рис. 13. Карта-схема места измерений

После включения всех модулей один из участников эксперимента с закрепленным на шесте узлом-слейвом постепенно удалялся от места сосредоточения узлов-мастеров (точка «0 метров» на рис. 13), фиксируя расстояние и время. Замеры качества связи и все другие характеристики передачи автоматически регистрировались в электронном журнале, ведущемся на ноутбуке, к которому был подключен один из подобных узлов (анализатор трафика).

Необходимо отметить, что антенные части узлов по мере удаления друг от друга всегда находились в условиях прямой видимости, иначе происходило резкое снижение качества связи. Измерения проводились в разную погоду, иногда даже в условиях небольшого дождя или снега.



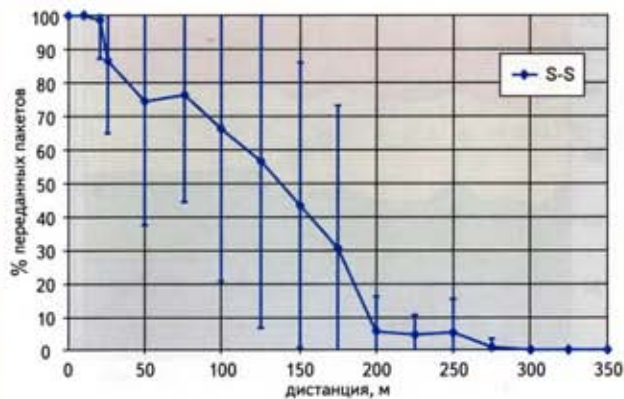


Рис. 14. Процент успешно переданных пакетов в зависимости от расстояния между узлами (мастер и слейв), имеющих одинаковые штыревые антенны S

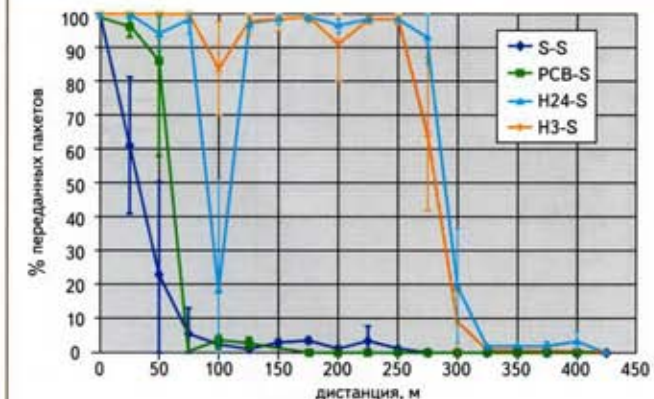


Рис. 15. Процент успешно переданных пакетов в зависимости от расстояния для узлов-мастеров с антеннами S, PCB, H24, H3 и узла-слейва с антенной S

Территория университетского городка располагается в лесном массиве, что минимизирует вероятность нахождения мощных источников излучения на частоте 2,4 ГГц поблизости.

### Эксперимент 1

**Цель:** определить предельную дальность устойчивой связи между узлами и при использовании штыревых полуволновых антенн (S) на обоих узлах. На графике (рис. 14) представлены сводные усредненные данные за несколько дней измерений при различных погодных условиях и помехах и зарегистрированные в разное время суток. Доверительный интервал, изображенный на графике, был рассчитан с использованием функции СТАНДОТКЛОН ()<sup>1</sup> в пакете Microsoft Office Excel 2003.

Можно полагать, что радиосвязь носит устойчивый характер, если процент потерь пакетов не больше 5–10%. Видно, что для построения надежных сетей сбора информации с датчиков узлы в сетях Nanonet не должны быть разнесены далее, чем на несколько десятков метров. При расстояниях, превышающих 100–125 м, характеристики связи сильно зависят от внешних факторов (наличие тумана, прямой видимости, помех). В таких условиях в любом случае необходимо реализовывать повторную передачу. А свыше 200 м между узлами терялось уже практически 100% пакетов. Был также замечен интересный факт, что часть помех (например, резкие провалы

в текущей пропускной способности) носила эпизодический характер и длилась до нескольких десятков-сотен секунд. Другую долговременную часть можно было списать на наличие постоянного фона, который то присутствовал в отдельные дни, то отсутствовал.

### Эксперимент 2

**Цель:** определить дальность связи при использовании антенн разных типов (качественные характеристики антенн).

На каждом графике ниже и далее представлены результаты усреднений лишь по одному эксперименту (по мере удаления узла-слейва для каждой отметки по горизонтальной оси расстояний проводилось усреднение процента успешно переданных пакетов в течение не более 1 минуты). Они позволяют сравнить эффективность применения того или иного вида антенны по отношению к показателям штыревой антенны S.

На первой диаграмме (рис. 15) показаны результаты работы со штыревой антенной (узел-слейв оснащен антенной S), на второй (рис. 16) — со спиральной трехвитковой антенной (антенна H3). Как и ожидалось, применение спиральной антенны H позволяет существенно увеличить дальность связи, особенно при работе в паре с аналогичной по конструкции антенной (рис. 16).

На рис. 15 на ломаной H24-S существует провал в пропускной способности на отметке 100 м,

который авторы затрудняются объяснить. Этот провал не наблюдается (имеет гораздо меньшую величину) для пары H3-S, что достаточно странно, т. к. трансиверы обоих мастеров H24 и H3 работали в попеременном режиме (CSMA) и внешние условия радиосвязи должны были сказываться на них одинаково.

При рассмотрении графика H24-H3 также заметно пропадание связи при расстояниях 450–500 м, однако по мере увеличения расстояний до 550 м она вновь возобновляется (временами доходя почти до 100%). По-видимому, данный момент может быть объяснен либо кратковременными помехами в диапазоне 2,4 ГГц, либо небольшим ухудшением условий прохождения сигнала вдоль дороги.

Сравнивая результаты измерений, представленные на рис. 15 и 17, можно отметить, что в день проведения испытаний, соответствующих рис. 17, наблюдалось улучшение характеристик связи для штыревой полуволновой антенны и ухудшение для многовитковой спиральной антенны. Чем объясняется разница в изменении показателей для указанных видов антенн, также сложно предположить. Необходимо отметить, что авторы по возможности старались сохранить все условия проведения экспериментов в разные дни (каждой антенне соответствовал тот же самый трансивер, их размещение на переносной мачте сохранялось, электропитание подводилось одинаковым образом).

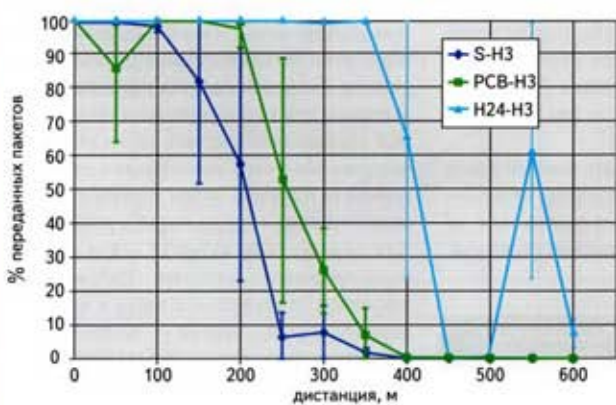


Рис. 16. Процент успешно переданных пакетов в зависимости от расстояния для узлов-мастеров с антеннами S, PCB, H24 и узла-слейва с антенной H3

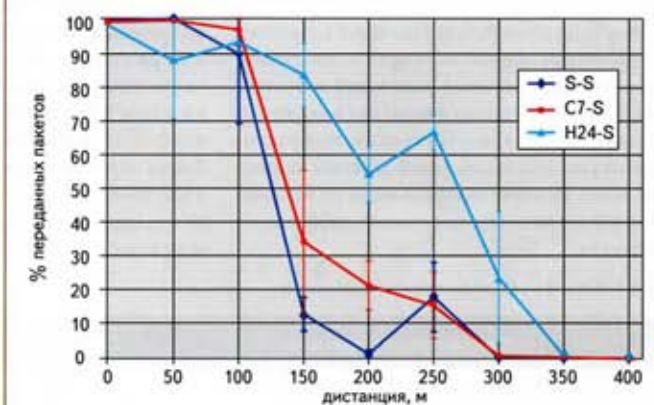


Рис. 17. Процент успешно переданных пакетов в зависимости от расстояния для узлов-мастеров с антеннами S, C7, H24 и узла-слейва с антенной S

<sup>1</sup> Функция СТАНДОТКЛОН() использует следующую формулу:  $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$  где  $\bar{x}$  — среднее по выборке, а n — размер выборки.



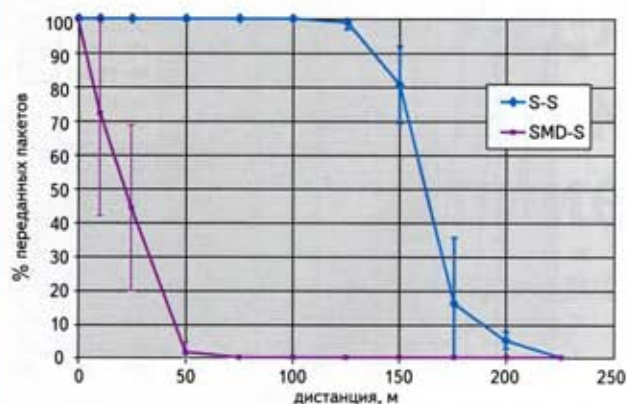


Рис. 18. Процент успешно переданных пакетов в зависимости от расстояния для узлов-мастеров с антеннами S и SMD и узла-слейва с антенной S

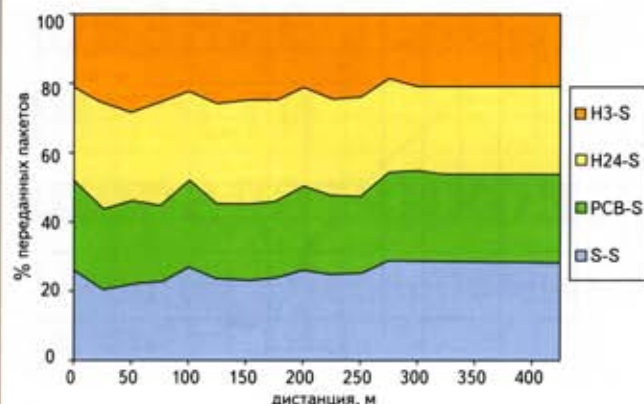


Рис. 19. Разделение полосы пропускания несколькими трансиверами Nanonet, работающими в режиме CSMA (для эксперимента, описанного на рис. 15)

Приемопередающие качества коллинейрной 7-сегментной антенны С7 оказались хуже ожидаемых. Видимо, сказались небольшие нарушения в геометрии составных частей каждого сегмента антенны (не удалось найти медную трубку подходящего диаметра, которую в итоге решили заменить сплошным медным штырем чуть меньшего поперечного сечения).

Результаты эксперимента с использованием SMD-антенны (для этого был разработан и собран специальный тестовый модуль на основе микроконтроллера ATmega32L и трансивера nanoPAN 5361) выявили невозможность применения этой антенны в устройствах, на основе которых строится большинство сетей датчиков. При увеличении расстояний между узлами до 20–30 м повышенное количество вынужденных повторных передач сводит к минимуму выигрыш в компактности радиомодулей. Однако SMD-антенна может найти свое применение для беспроводной связи между устройствами в пределах одного помещения (например, бытовых устройствах контроля различных параметров, мониторинга или управления).

Резюмируя все проведенные измерения, можно расположить протестированные антенны в следующем порядке по возрастанию значения достигнутой с их помощью дальностью устойчивой связи (значение коэффициента дальности штыревой полуволновой антенны S принято за 1) (таблица).

Само собой разумеется, что значения в столбике «коэффициент дальности» указаны лишь приблизительно. Для получения расстояний зон устойчивого и неустойчивого приема для конкретной антенны следует сдвинуть кривую, изображенную на рис. 14 для штыревой антенны, вправо или влево, умножив значения меток по горизонтальной оси на соответствующий коэффициент дальности.

Т а б л и ц а . Коэффициенты дальности

Наименование антенны	Обозначение	Коэффициент дальности
SMD многослойная антенна AN9520	SMD	0,1–0,2
Штыревая полуволновая антенна 17010.10	S	1
Коллинейрная 7-сегментная антенна	C7	1,2
Коллинейрная антенна, выполненная на текстолите	PCB	1,4–1,8
Многовитковая спиральная антенна, количество витков 3	H3	2,5–3,8
Многовитковая спиральная антенна, количество витков 24	H24	2–4

### Эксперимент 3

**Цель:** оценить корректность одновременной работы нескольких модулей в режиме CSMA.

В условиях сильного сигнала (все узлы-мастера «слышат» друг друга, то есть регистрируют факт передачи) по мере удаления узла-слейва, часть мастеров перестает получать сигналы подтверждения от узла-слейва в силу недостаточного усиления антенны. В случае некорректной работы NAV алгоритма, встроенного в трансиверы NAITR8 и nanoPAN, можно было бы ожидать, что на достаточно больших расстояниях будут наблюдаться эффекты перераспределения полосы пропускания между парами мастер-слейв. Например, пара H24-S могла бы захватить 50% ширины канала, оставив другим парам канал меньшей пропускной способности.

Однако такого не происходило. На рис. 19 показана гистограмма распределения 100 процентов полосы пропускания несколькими трансиверами Nanonet, работающими в режиме CSMA. Исходные данные для этой гистограммы были взяты из эксперимента, в котором 4 узла-мастера с антеннами S, PCB, H3, H24 передавали пакеты узлу-слейву с антенной S (измерения описаны в разделе «Эксперимент 2», рис. 15).

По мере удаления узла-слейва от группы узлов-мастеров успешная передача-прием пакетов между некоторыми парами прекращалась, однако и после этого трансивер узла-мастера все равно генерировал и отправлял кадры в эфир. Например, на 50 м более 50% пакетов для пары S-S требовали повторных попыток ретрансляции. А на расстоянии 200 м пакеты узлов-мастеров с антеннами S и PCB не достигали узла-слейва, а в парах H3-S и H24-S все еще фиксировалась устойчивая радиосвязь.

Таким образом, можно сделать важный вывод о том, что если узлы-мастера регистрируют момент начала передачи соседнего узла и вычисляют момент вероятного окончания передачи (что аппарат-

но поддерживается трансиверами Nanonet), то независимо от существования удаленного узла-адресата, полоса пропускания будет делиться поровну между передающими узлами. То есть по окончании передачи одним узлом все остальные, у которых возникла необходимость трансляции данных в эфир, будут бороться за среду передачи. При этом у радиомодулей не возникает никаких преимущественных условий по отношению друг к другу к корректной реализации алгоритма CSMA в трансиверах nanoPAN и NAITR8.

Если вернуться к детальному рассмотрению рис. 19, то колебания в распределении пропускной способности отдельных пар (на расстояниях до 350 м) можно объяснить именно вероятностным характером алгоритма доступа к среде передачи.

Здесь также необходимо отметить, что разработчики технологии Nanonet предусмотрели возможность создания приоритетов в доступе к среде благодаря снижению (увеличению) максимального времени ожидания среды перед началом передачи (интервал random на рис. 1). Для этого надо лишь изменить значения некоторых регистров трансиверов.

### Эксперимент 4

**Цель:** оценить условия передачи пакетов над поверхностью воды.

Для разработки многих приложений беспроводных сетей важно знать, насколько изменяются параметры распространения сигналов на открытом пространстве не над землей, а вдоль поверхности воды, особенно для излучения диапазона 2,4 ГГц, активно поглощаемого молекулами воды H<sub>2</sub>O. Это актуально при конструировании узконаправленных протяженных участков радиосвязи поперек крупных рек и озер, при создании систем сбора данных на водоемах, систем управления механизмами очистных и других гидросооружений и т. д. Для определения качества связи над водой было проделано следующее. Один модуль был закреплен на деревянном пирсе в метре от поверхности воды. Второй — на корме катера, оснащенного системой глобального позиционирования GPS. Оба модуля были оборудованы штыревыми полуволновыми антеннами S. В день проведения измерений было солнечно, и небольшой ветер формировал волну 20–30 см на поверхности озера.

Проведенные исследования показали, что при использовании антенн S-S обеспечивалась устой-



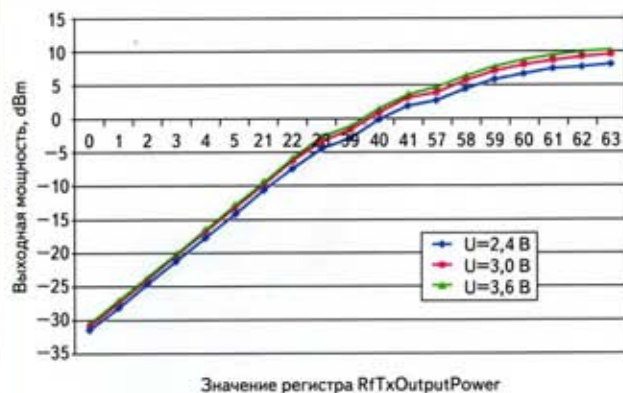


Рис. 20. Зависимость мощности выходного сигнала от значения, записанного в регистр RfTxOutputPower

чивая связь вплоть до 225 м, далее, по мере увеличения расстояния, качество связи постепенно ухудшалось. Но даже на расстояниях 450–500 м фиксировались подтверждения принятого пакета, чего никогда не наблюдалось на суше.

Это позволяет сделать вывод о том, что над водной поверхностью дальность устойчивой связи увеличивается примерно в полтора раза, то есть сравнительно ровная поверхность воды служит дополнительным зеркалом, «усиливающим» сигнал в верхней полусфере.

### Эксперимент 5

**Цель:** определить зависимость размеров зоны приема от величины выходного сигнала.

Как уже упоминалось ранее, в трансиверах NA1TR8 и папоPAN предусмотрена возможность изменять амплитуду выходного сигнала. Для этого перед стартом передачи необходимо занести число от 0 до 63 в младшие шесть байтов регистров RfTxOutputPower с адресами 0x2A и 0x2B. В документации на NA1TR8 [9] приводится следующая зависимость выходной мощности сигнала от значения, записанного в указанном регистре.

Таким образом, трансиверы поддерживают 19 градаций мощности сигнала, которые соответствуют значениям (0, 1, 2, 3, 4, 5, 21, 22, 23, 39, 40, 41, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63) в регистре RfTxOutputPower.

Для определения зависимости максимального расстояния устойчивой связи программное

обеспечение модулей было немного модифицировано. Узел-мастер последовательно посылал узлу-слейву пакеты, постепенно уменьшая амплитуду сигнала со значения 63 до 0, и фиксировал количество ретрансляций. Если счетчик попыток передачи пакета для текущей мощности сигнала равнялся трем, это означало, что пакет так и не был доставлен адресату (узлу-слейву). Пакеты подтверждения о приеме посылались всегда на максимальной мощности (63). Типичная запись в журнале эксперимента выглядит следующим образом.

```
42 - 111111000301: all: 3094 | success: 3094 <RTC:
                                000000701939
      8765432211009_98_87_76_65_54___
      43_32_21_10_0
      1 12 333233 3333333333
```

42 — номер записи, 11-11-11-00-03-01 — MAC-адрес узла-мастера, all:3094 — количество отправленных за 10 секунд пакетов по 128 байтов (на максимальной мощности сигнала), success: 3094 — количество переданных пакетов, на которые было получено подтверждение о приеме, RTC: 000000701939 — временная метка регистрации данных (аппаратная поддержка в трансиверах Nanonet).

Вторая и третья строки соответствуют отправкам пакетов с уменьшающейся силой сигнала. Во вто-

рой строке каждый символ обозначает уровень мощности (19 градаций) — от 18 (единица в записи в журнале опущена) до 0. Например, в каждом цикле были предприняты: одна попытка отослать пакет с уровнем мощности 18, 17, 16 и т. д., три попытки отослать пакет с уровнем мощности 8, пять попыток — с уровнем 0. В третьей строке отражено количество ретрансляций (если их не было, то есть пакет был передан с первой попытки, вставлялся пробел).

Третью строчку можно интерпретировать следующим образом. Пока сигнал узла-мастера был достаточно сильным (соответствующие значения регистра RfTxOutputPower лежали в диапазоне от 63 до 4), узел-слейв подтверждал прием каждого пакета. Как только уровень мощности стал равен 3, начали появляться проблемы с приемом. А для уровней сигнала 1 и 0 вообще не было зарегистрировано ни одной успешной передачи. Таким образом, чем больше было расстояние между узлами, тем хуже были условия приема-передачи и тем ближе к началу третьей строки возникали цифры 1, 2 и 3.

На основании результатов экспериментов с парой модулей, оснащенных антеннами S, были получены графики, приведенные на рис. 21 и 22.

Излом на графике (рис. 22) в точке 25 м можно списать на кратковременные помехи. Важный вывод, который напрашивается из анализа графика, заключается в том, что вследствие отсутствия на нем резких перегибов и длинных горизонтальных участков можно регулировать размер

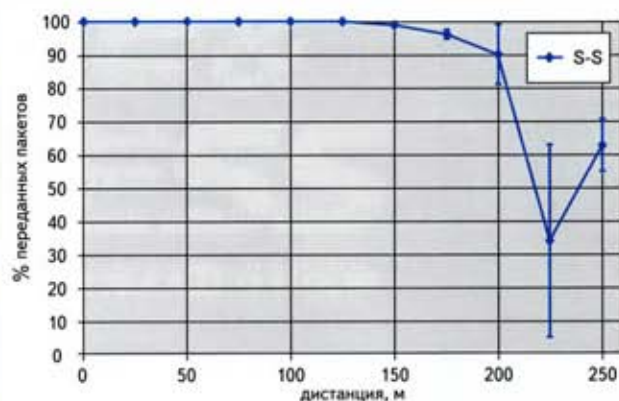


Рис. 21. Процент успешно переданных пакетов в зависимости от расстояния для пары модулей (мастер-слейв), оснащенных антеннами S

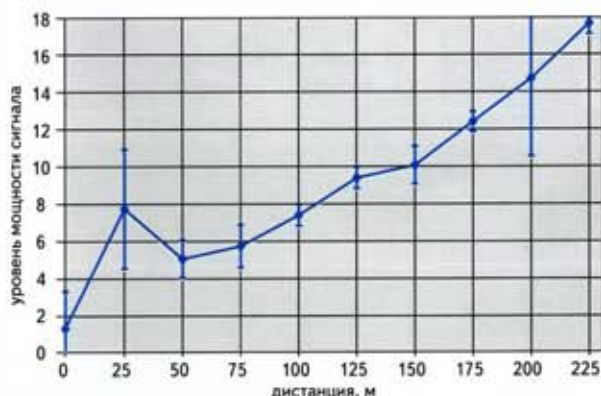


Рис. 22. Зависимость минимального уровня мощности (значение регистра RfTxOutputPower, от 0 до 18), достаточного для установления устойчивой связи между модулями, от расстояния между ними (значения точек на графике по вертикальной оси не соответствуют значениям целых чисел вследствие усреднения результатов для каждой отметки по оси расстояний)

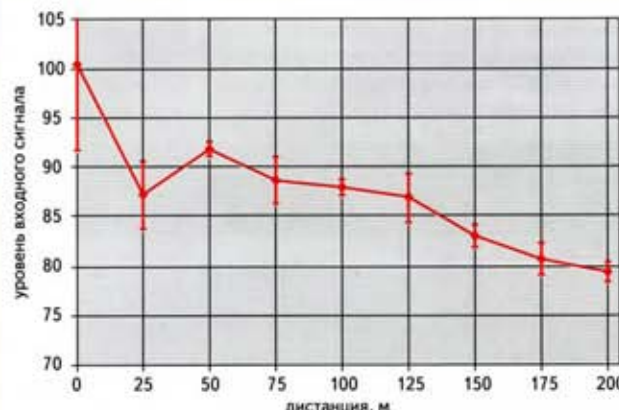


Рис. 23. Зависимость уровня входного сигнала (значение регистра RfAgcVol) от расстояния до его источника (узла-мастера)



зоны уверенного приема с помощью изменения значения в регистре RfTxOutputPower. Это поможет управлять энергопотреблением модулей и, в некоторых случаях, эффективно бороться с так называемой проблемой «скрытого узла» в беспроводных сетях.

### Эксперимент 6

**Цель:** определить зависимость силы сигнала на стороне приемника от расстояния до передатчика. Кроме уже описанной возможности изменять уровень выходного сигнала, трансиверы NAI1TR8 и nanoPAN дают возможность получить информацию об уровне принимаемого сигнала посредством чтения содержимого регистра соответствующего индикатора — RfAgcVol (адрес 0x59). В документации [11] указано, что младшие 7 бит этого регистра соответствуют определенному аппаратному усилению сигнала, которое было зафиксировано на момент синхронизации поступающего в ресивер кадра, и приведено следующее соответствие:

- минимальный детектируемый сигнал: Pin min = -100 дБм = 0.1 пВт;
- максимальный детектируемый сигнал: Pin max = -20 дБм = 10 мкВт.

Можно предположить, что уровню сигнала 10–13 Вт соответствует значение 0 в регистре RfAgcVol, а уровню 10 мкВт — значение 127.

Для проверки этого предположения (сотрудники компании Nanotron Technologies GmbH никак это не прокомментировали) в ходе проведения эксперимента 5 одновременно регистрировался уровень входного сигнала на узле-слейве. Причем это производилось в моменты, когда уровень сигнала узла-мастера был максимальный.

Результаты исследования представлены на рис. 23. Как видно, значение регистра RfAgcVol находилось в пределах от 112 (при максимальном приближении двух модулей со штыревыми антеннами друг к другу) до 76–78, когда связь почти пропадала (в регистре сохранялся уровень сигнала последнего принятого кадра). Опять же, можно отметить достаточно гладкую зависимость уменьшения амплитуды сигнала от расстояния, что говорит о корректном функционировании внутренних схем усилителей трансиверов.

Упомянувшееся ранее (эксперимент 5) ухудшение условий распространения радиосигналов для расстояния 25 м не сказалось на количественных показателях связи (рис. 21); уменьшение пропускной способности канала не наблюдалось вследствие значительного превышения порогового значения сигналом на приемной стороне (предел обнаружения сигнала составлял примерно 76–78 относительных единиц по вертикальной оси на рис. 23).

## Выводы

Как показали эксперименты, часть электромагнитных помех в диапазоне 2.4 ГГц носит кратковременный характер, часть — почти постоянна. Качество связи в различные моменты (дни) может очень сильно различаться (наглядно видно при сравнении графиков на рис. 15 и 21 для S-S антенн). Кроме того, помехи по-разному влияют на прием сигнала ресиверами, оснащенными антеннами разных типов и с разным видом поляризации. Подтверждением этому является провал в пропускной способности на 50 метрах для антенны H24, не наблюдавшийся в том же эксперименте для штыревой антенны S (рис. 17). На основе данных, представленных на рис. 22 и 23, можно приблизительно рассчитать дальность устойчивой связи для различных условий помех. Например, повышение уровня помех, выражающееся в невозможности распознать полезный сигнал для значений регистра RfAgcVol ниже 83 по сравнению со значением 79, полученным в эксперименте (рис. 23), тождественно снижению радиуса зоны уверенного приема на 50 м (с 200 до 150 м).

Управляя мощностью выходного сигнала, можно регулировать дальность распространения радиоволн и во многих случаях уменьшать энергопотребление модулей, что актуально при разработке «интеллектуальных» алгоритмов функционирования сетей датчиков с автономным питанием.

По-видимому, дальность связи в 900 м, заявленную разработчиками технологии Nanonet, следует считать неким «идеальным» пределом. На практике осуществление устойчивой связи без использования усилителей на таких расстояниях, как показал наш опыт, маловероятно. Применение данной технологии внутри помещений, скорее всего, будет ограничено пределами одного-двух смежных помещений, например, коридора и комнаты. Если понадобится передавать данные в пределах всего здания, то проектировщику для обеспечения максимальной зоны охвата сети необходимо будет подбирать местоположение узлов-ретрансляторов, а также тип антенн на этих узлах.

Представленные выше результаты экспериментов наглядно демонстрируют полезность применения узконаправленных антенн с высоким коэффициентом усиления. Использование надлежащих антенных систем способно улучшить качество связи и существенно увеличить ее дальность без повышения излучаемой мощности или применения дорогостоящих и неэкономичных усилителей. Ко всему прочему при использовании антенн, имеющих узкую диаграмму направленности, удается избежать негативного влияния помех со всех направлений, ограничившись лишь направлением приема антенны.

Это, однако, имеет и обратную сторону. Увеличение радиуса связи может привести к генерации возможных помех другим участникам радиоэффира. Именно поэтому при проектировании беспроводных распределенных систем датчиков необходимо особенно тщательно выбирать и настраивать антенные части приемопередающих устройств.

Авторы благодарят А. В. Соловьева и Д. А. Екимова (Петрозаводский государственный университет) за высказанные критические замечания.

Данное исследование проведено в рамках проекта «Научно-образовательный центр по фундаментальным проблемам приложений физики низкотемпературной плазмы» (RUX0-013-P2-06), поддерживаемого Министерством образования и науки РФ, Американским фондом гражданских исследований и развития (CRDF) и Правительством Республики Карелия, а также частично финансировалось Научно-техническим Центром Финляндии (VTT) в рамках договорных работ. □

## Литература

1. Akyildiz I.F., Su W., Sankarasubramanian Y., Cayirci E. Wireless sensor networks: a survey // Computer Networks, Vol. 38, March 2002.
2. Akkaya K., Younis M. A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks // Elsevier Ad Hoc Networks Journal Vol. 3/3, 2005.
3. Sahni S., Xu X. Algorithms For Wireless Sensor Networks. // Intl. Jr. on Distr. Sensor Networks, 1, 2005.
4. Ротхаммель К. Антенны. Пер. с нем. 1-ое полное изд. СПб: «Бояныч», 1998.
5. Антенны спутниковые, ТВ, РВ, СИ-БИ, КВ, УКВ (конструкции, каталоги фирм, иллюстрированный обзор публикаций). М.: «Символ-Р», 1998.
6. Изготовление спиральной антенны для беспроводных сетей диапазона 2.4 ГГц. 2005. <http://www.wifiantenna.org.ua/antennas/helix/>.
7. Building the Aerialix ARLX-OM2400 Collinear. Antenna Kit.
8. Коллинеарная антенна для сетей Wi-Fi на стеклотекстолите. 2005. <http://rj3dde.narod.ru/wifi/wifi.htm>.
9. nanoNET TRX (NA1TR8) Transceiver Datasheet. Ver. 2.07. NA-03-0111-0239-2.07.
10. Мошевикин А. Исследование скорости передачи данных в беспроводных сетях Nanonet // Беспроводные технологии. 2006. № 3.
11. nanoNET TRX (NA1TR8) Transceiver Register Description. Ver. 1.06. NA-03-0100-0246-1.06.
12. Arpreev B., Долгушин С. Беспроводные сети NanoNET // Беспроводные технологии. 2005. № 1.